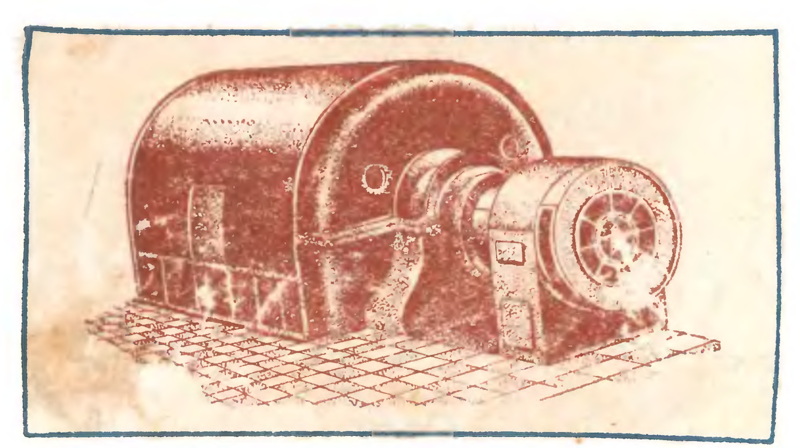
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
В РИСУНКАХ И ЧЕРТЕЖАХ

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Ш.М. Алукер, И.А. Васильева, Э.И. Расовский, П.Ф. Скворцов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ, АППАРАТЫ и УСТАНОВКИ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
Ленинград 1951 Москва

Цена 45 р. в папке

СОДЕРЖАНИЕ

Художник А. Т. МЕНЬШИКОВ

Сдано в производство 15/VII-1951 г.
Подписано к печати 24/VII-1951 г.

М-37669 40 уч.-изд. л. Бумага 60x92
Тираж 10 000 экз. Зак. № 587

Таблицы отпечатаны во 2 типографии
Гослесбумиздата. Ленинград

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первая часть учебного пособия „Электротехника в рисунках и чертежах" — автор Э. И. Расовский — посвящена основам электротехники.

Предлагаемая вниманию читателей вторая часть этого пособия составлена под общей редакцией Э. И. Расовского коллективом кафедры Основ электротехники Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства имени В. М. Молотова и посвящена электрическим машинам и трансформаторам, электрическим измерениям, электронным и ионным приборам, электрическому освещению и производству и распределению электрической энергии.

Вторая часть пособия составлена следующими авторами:

Ш. М. Алукер — главы 1, 7 и 8
И. А. Васильева — глава 3
Э. И. Расовский — глава 6
П. Ф. Скворцов — главы 2, 4 и 5

В некоторых таблицах глав 3 и 4 использованы материалы погибшего на фронте члена кафедры М. Д. Каминского.

Сознавая трудность задачи создания наглядного учебного пособия по электротехнике, особенно при отсутствии специального пояснительного текста, авторы считают возможным наличие некоторых недостатков в работе и с благодарностью примут все замечания и пожелания по настоящей серии учебных таблиц.

Отзывы просим направлять по адресу; Москва, Шлюзовая набережная, д. 10, Госэнергоиздат.

Подписано к печ. 20/XI 1951 г. Зак. 3143 Тир. 10000
Типография Госэнергоиздата, Китайский пр., 7.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ГЛАВА ВТОРАЯ

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ТРАНСФОРМАТОРЫ

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

ГЛАВА ПЯТАЯ

СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЭЛЕКТРОННЫЕ И ИОННЫЕ ПРИБОРЫ

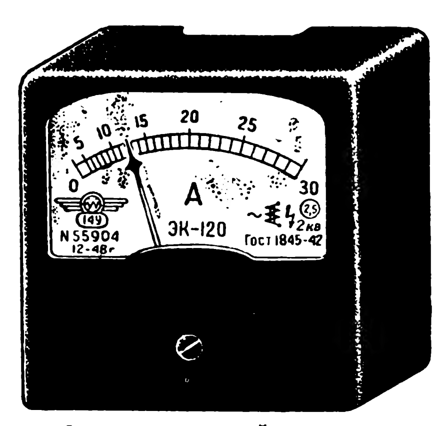
ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ПРОИЗВОДСТВО И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

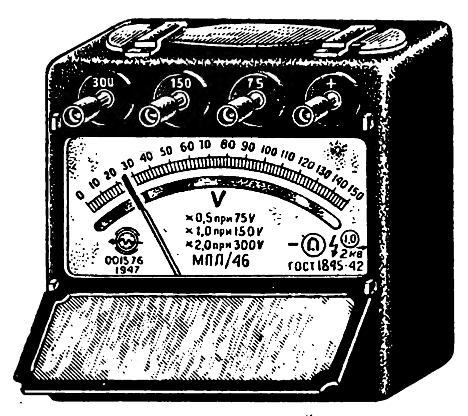
ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Электромагнитный амперметр
(щитовой, класса точности 2,5,
изоляция испытана напряжением 2 кв)



Магнитоэлектрический вольтметр
(переносный, лабораторный, класса точности 1,0,
на 3 предела измерений, горизонтальная установка)

Условные обозначения систем приборов

Система приборов	Условное обозначение
Магнитоэлектрическая:	
с противодействующей силой	
без противодействующей силы (логометр)	
Электромагнитная	
Электродинамическая.	
без стали	
ферродинамическая	
Индукционная	
Тепловая	
Термоэлектрическая	
Вибрационная	
Электростатическая	
Электронная	
Фотоэлектрическая	
Детекторная	

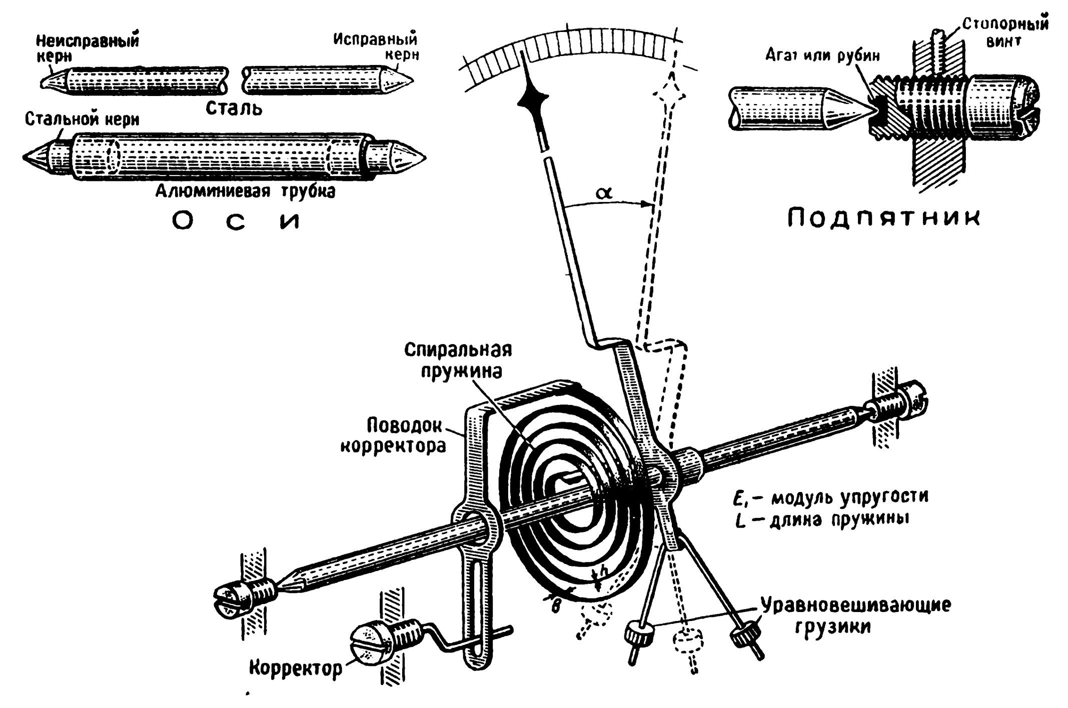
Условные обозначения технических характеристик приборов

Знак	Что означает
0,2	Класс точности 0,2
0,5	Класс точности 0,5
1,0	Класс точности 1,0
1,5	Класс точности 1,5
2,5	Класс точности 2,5
—	Прибор постоянного тока
~	Прибор переменного тока
≃	Прибор постоянного и переменного тока
3~	Прибор трехфазного тока
~50	Для частоты 50 герц
ϟ 2 кв	Испытательное напряжение 2 кв
∠60°	Установка под углом в 60°
↑	Вертикальная установка
→	Горизонтальная установка
ϟ	Предостерегающий знак высокого напряжения

Ш.М Алукер

Худ. А. Меньшиков.

ДЕТАЛИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ



Противодействующий момент, развиваемый спиральной пружиной $M_{пр} = \alpha W; W = \frac{E b h^3}{12 L}$

0 120 240 360 480 600

Зеркальная

Зеркало

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150

Равномерная

0 5 10 15 20 25 30

Неравномерная

Ш К А Л Ы

Воздушные

Магнитный

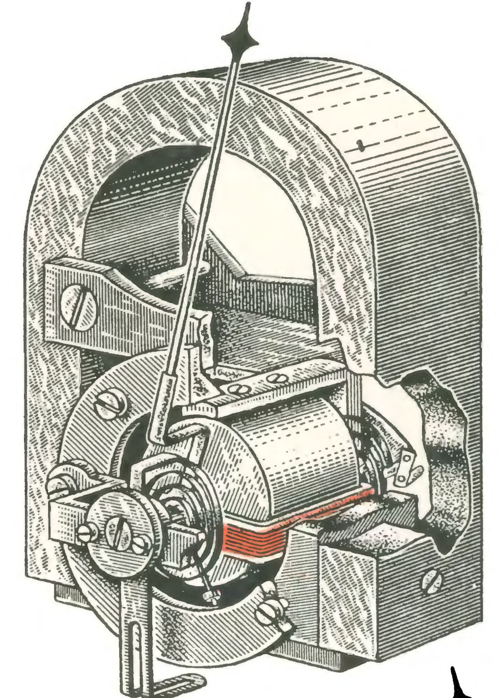
У С П О К О И Т Е Л И

Ш.М.Алукер

Худ. А.Меньшиков



МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

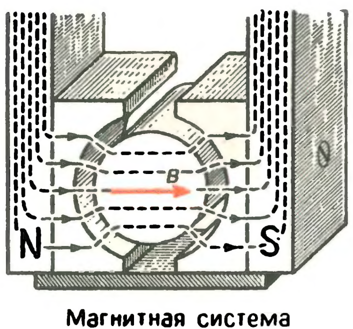


$M_{вр} = Bl\omega\, a \cdot I = CI$

Вращающий момент прибора

$S = \frac{\text{Угол отклонения}}{\text{измеряемая величина}} = \frac{Bla\omega}{W}$

Чувствительность прибора



Магнитная система



Кривая чувствительности S магнитоэлектрического прибора



Подвижная система

Колебание
0 1 2 3 4 5
$i_{торм}$
N S
+ I –

Успокоение

При колебании подвижной системы в каркасе рамки наводятся вихревые токи $i_{торм}$, обеспечивающие успокоение

+ I
– I
a
ω
l

Подвод и отвод тока

Отклонение
0 1 2 3 4 5
α
N S
+ I –

Измерение

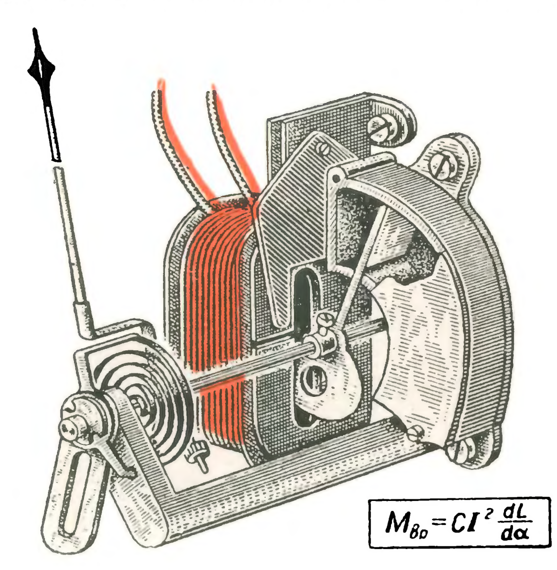
При протекании через рамку тока I подвижная система отклоняется на угол $\alpha = SI$

Магнитоэлектрические приборы пригодны только для постоянного тока

Ш.М. Алукер

Худ. А. Мотыльщиков

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРИБОРЫ



$$M_{вр} = CI^2 \frac{dL}{d\alpha}$$

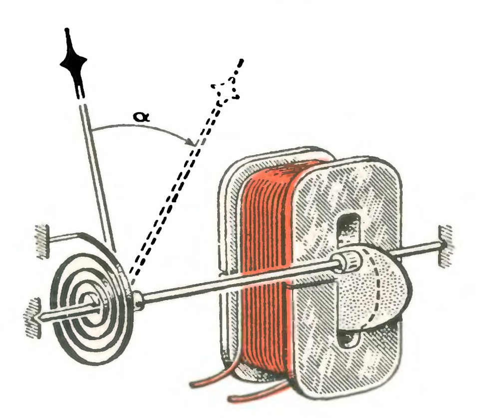


Схема прибора с плоской катушкой

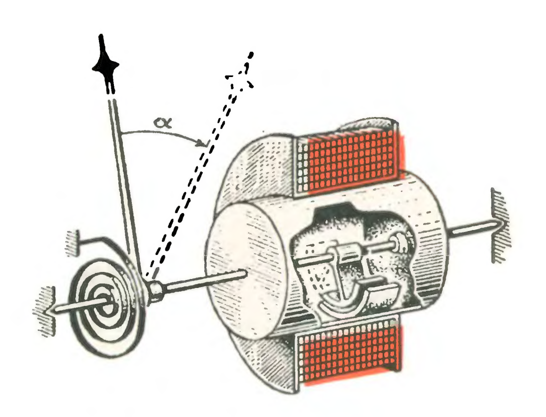
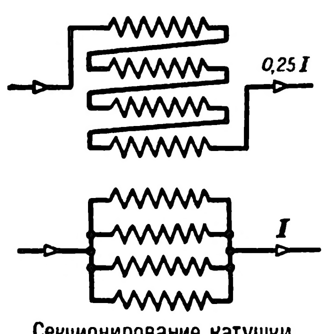
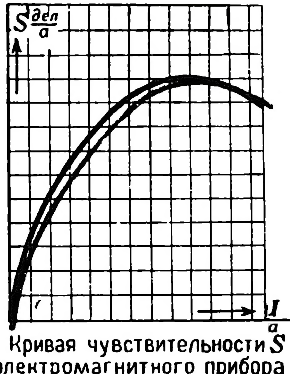


Схема прибора с круглой катушкой



Секционирование катушки электромагнитного амперметра



Кривая чувствительности S электромагнитного прибора

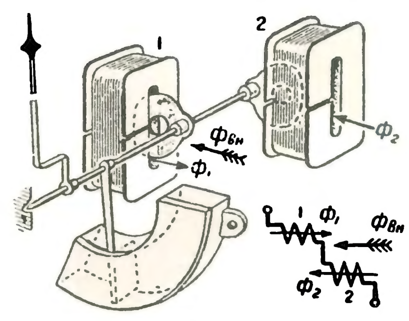


Схема астатического электромагнитного прибора

Электромагнитные приборы-самые дешевые и прочные приборы переменного и постоянного тока

Ш.М Алукер

Худ А. Меньшиков

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

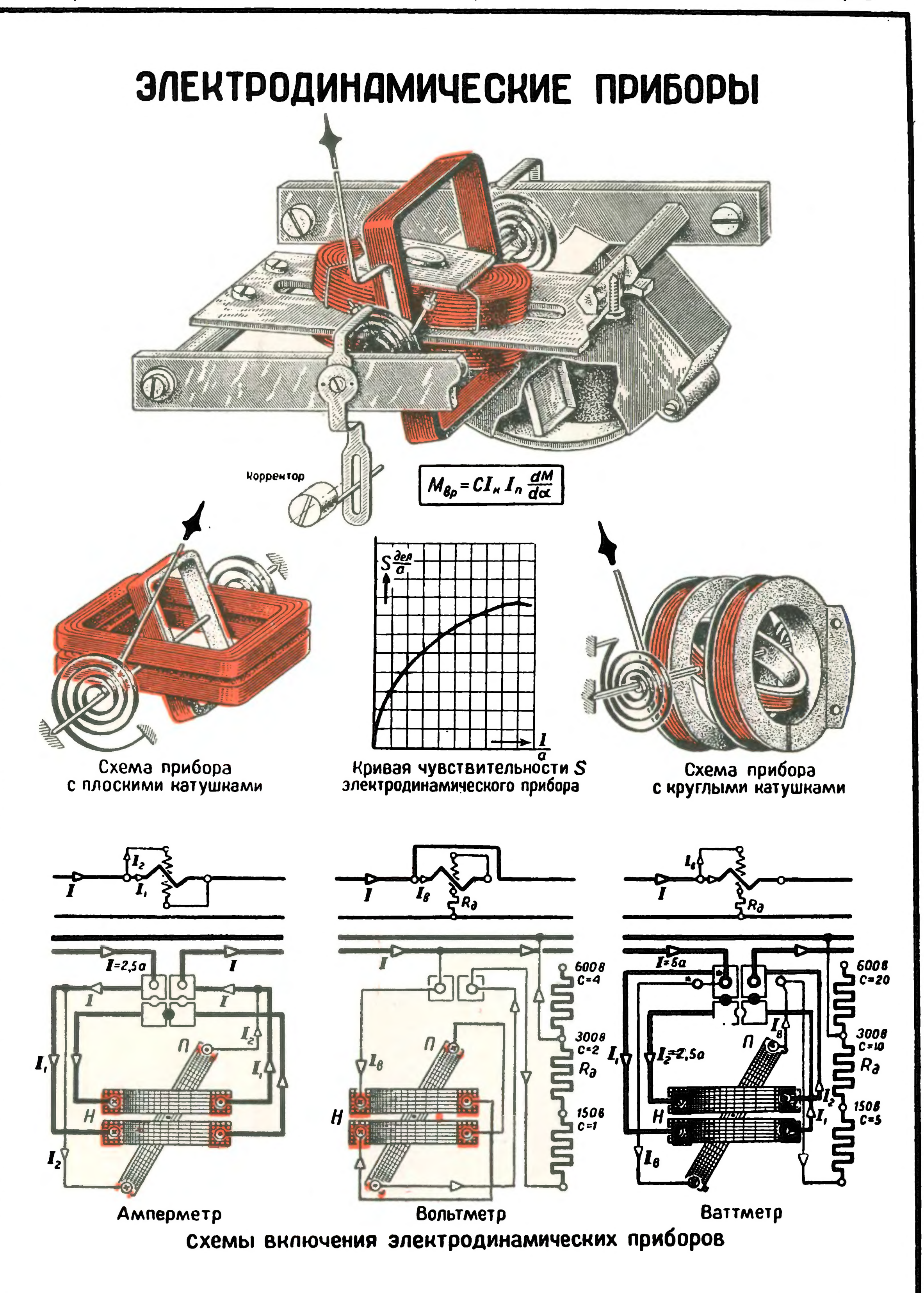


Схема прибора с плоскими катушками

Кривая чувствительности S электродинамического прибора

Схема прибора с круглыми катушками

Амперметр

Вольтметр

Ваттметр

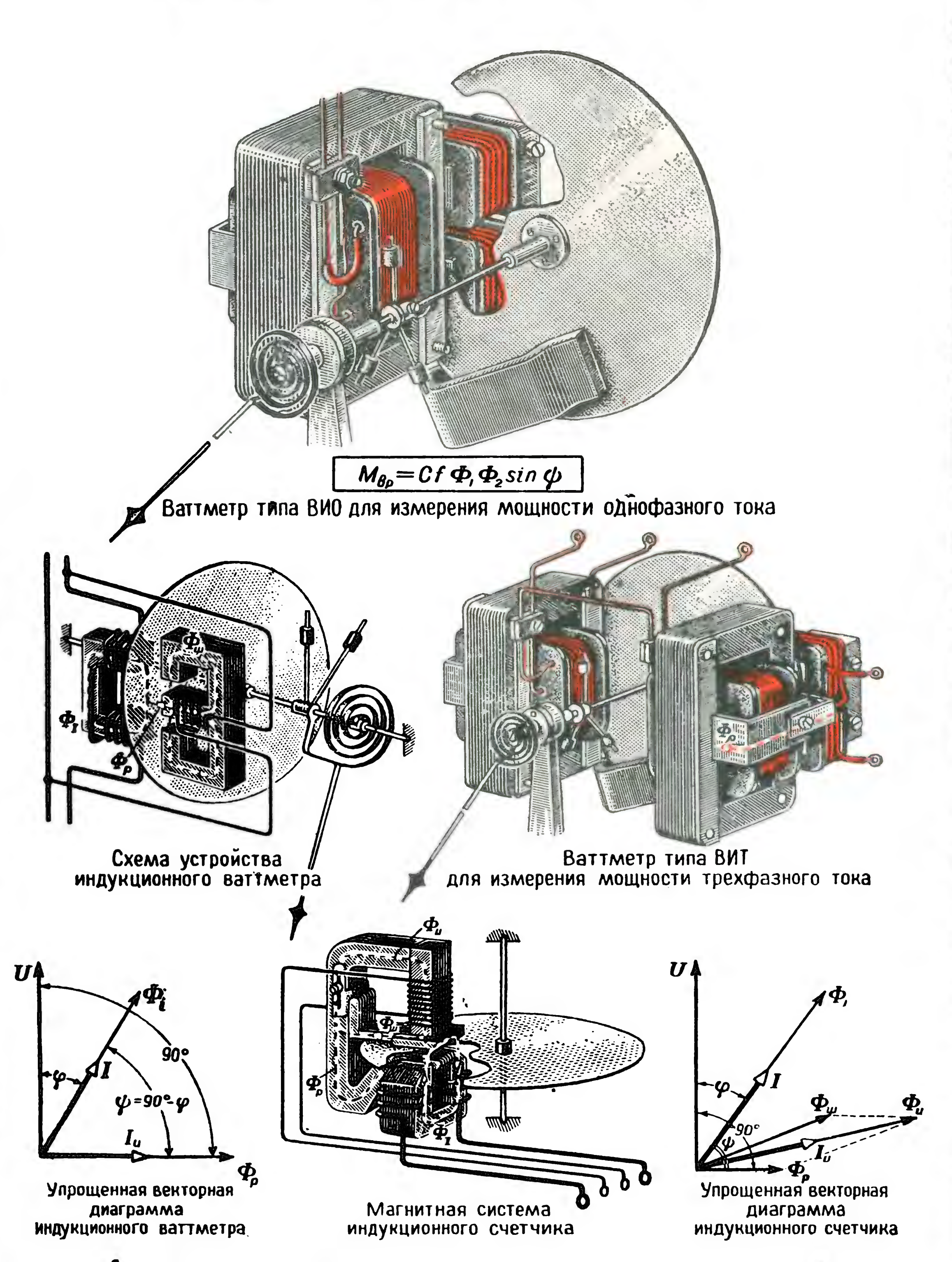
Схемы включения электродинамических приборов

Электродинамические приборы-самые точные приборы переменного тока

Ш.М.Алукер

Худ. А.Меньшиков

ИНДУКЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ



Ваттметр типа ВИО для измерения мощности однофазного тока

Схема устройства индукционного ваттметра

Ваттметр типа ВИТ для измерения мощности трехфазного тока

Упрощенная векторная диаграмма индукционного ваттметра

Магнитная система индукционного счетчика

Упрощенная векторная диаграмма индукционного счетчика

Индукционные приборы пригодны только для переменного тока

Ш.М.Алукер

Худ. А. Меньшиков

ТЕПЛОВЫЕ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Плата из материала с малым коэффициентом линейного расширения

$\Delta l = l - l_0 = CI^2; \alpha = CI^2$

Принцип действия теплового прибора

Схема расширения пределов измерения теплового амперметра

Схема регулировки натяжения нити и защиты от перегрузки

Тепловые приборы пригодны для переменного и постоянного тока, нечувствительны к колебаниям частоты

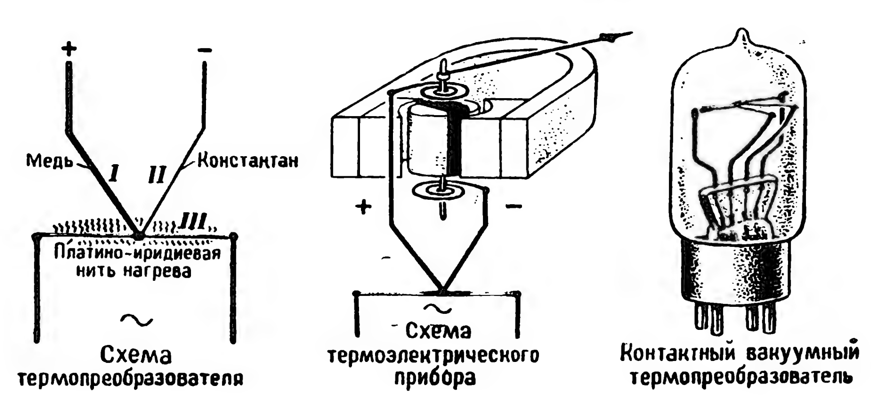


Схема термопреобразователя

Схема термоэлектрического прибора

Контактный вакуумный термопреобразователь

Термоэлектрические приборы применяются для измерения малых переменных токов низкой и высокой частоты

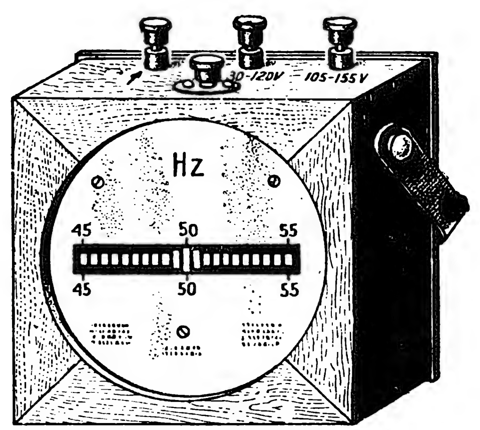
Ш.М. Алукер.

Худ. А. Меньшиков

ВИБРАЦИОННЫЕ И ДЕТЕКТОРНЫЕ ПРИБОРЫ



Щитовой герцметр



Переносный герцметр

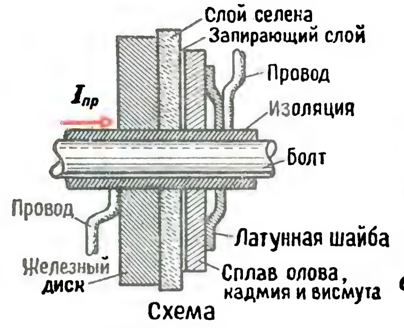
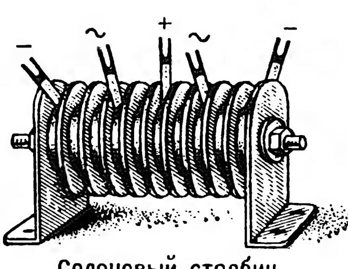
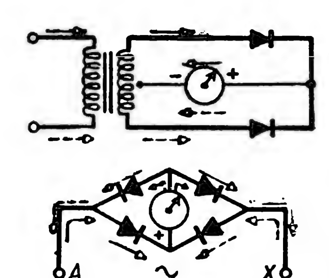


Схема селенового выпрямителя
(см. гл. 6 табл. 4)

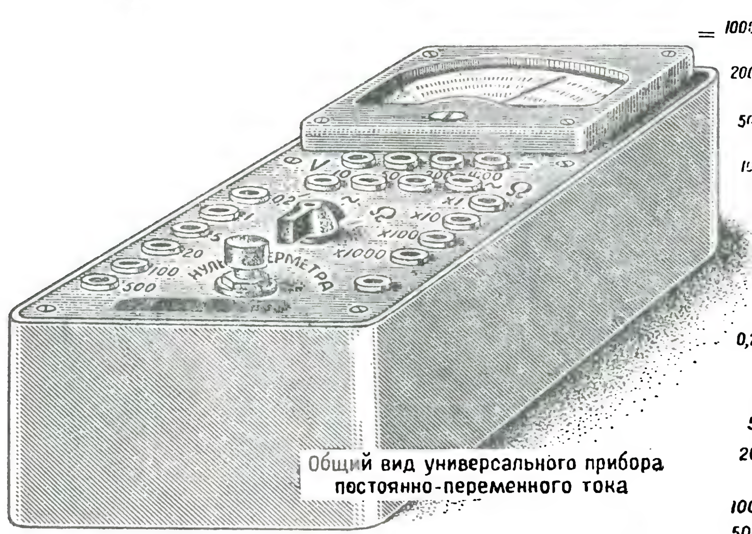


Селеновый столбик
(мостовая схема)



Схемы двухполупериодного выпрямления

Выпрямительные приборы измеряют среднее, а не действующее значение



Общий вид универсального прибора постоянно-переменного тока

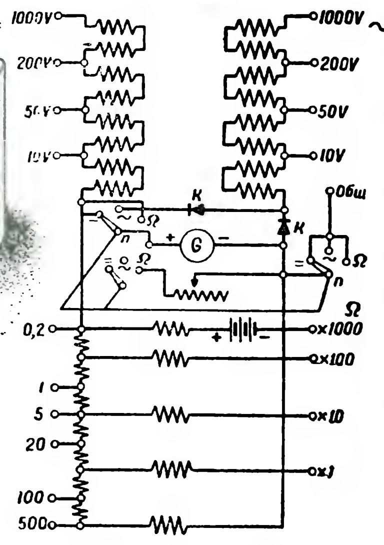


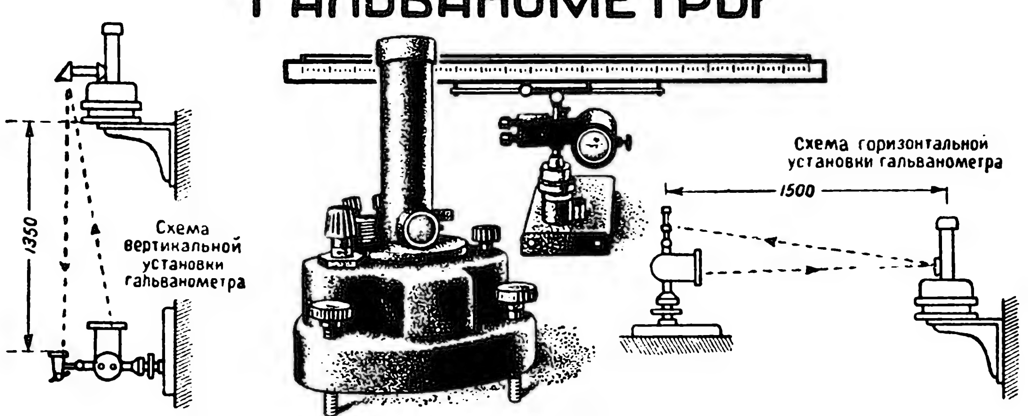
Схема соединения универсального прибора ТТ-1

Выпрямительные приборы применяются для измерения малых переменных токов и напряжений при технической и повышенной частоте

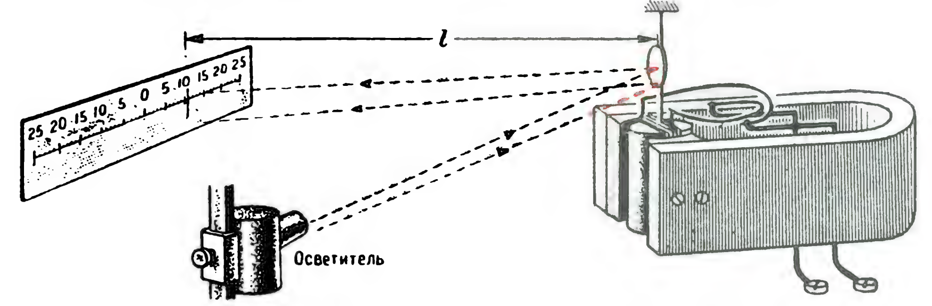
Ш.М.Алукер

Худ. А.Меньшиков

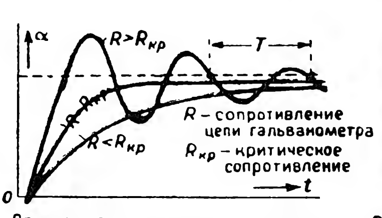
ГАЛЬВАНОМЕТРЫ



Зеркальный гальванометр М-21 с осветителем



Устройство и работа магнитоэлектрического гальванометра с объективным отсчетом



Движение рамки гальванометра при включении

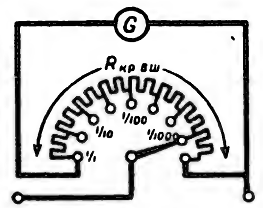
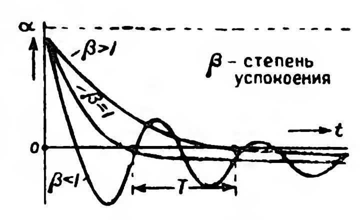


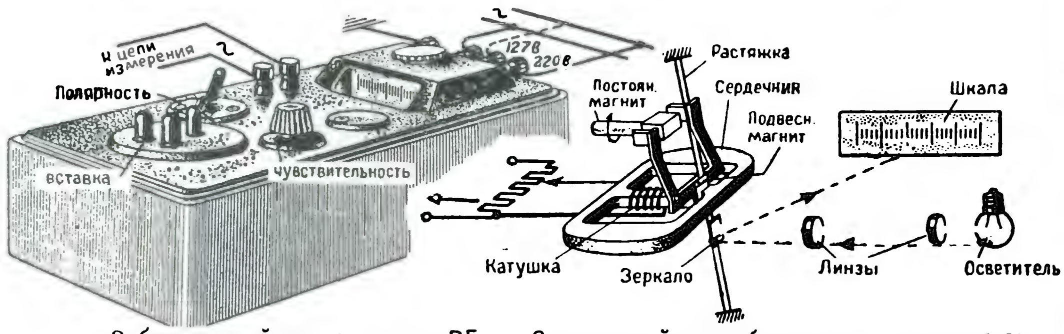
Схема универсального шунта к гальванометру



Движение рамки гальванометра при выключении

Магнитоэлектрические гальванометры пригодны только для постоянного тока





Вибрационный гальванометр ВГ

Схема устройства вибрационного гальванометра

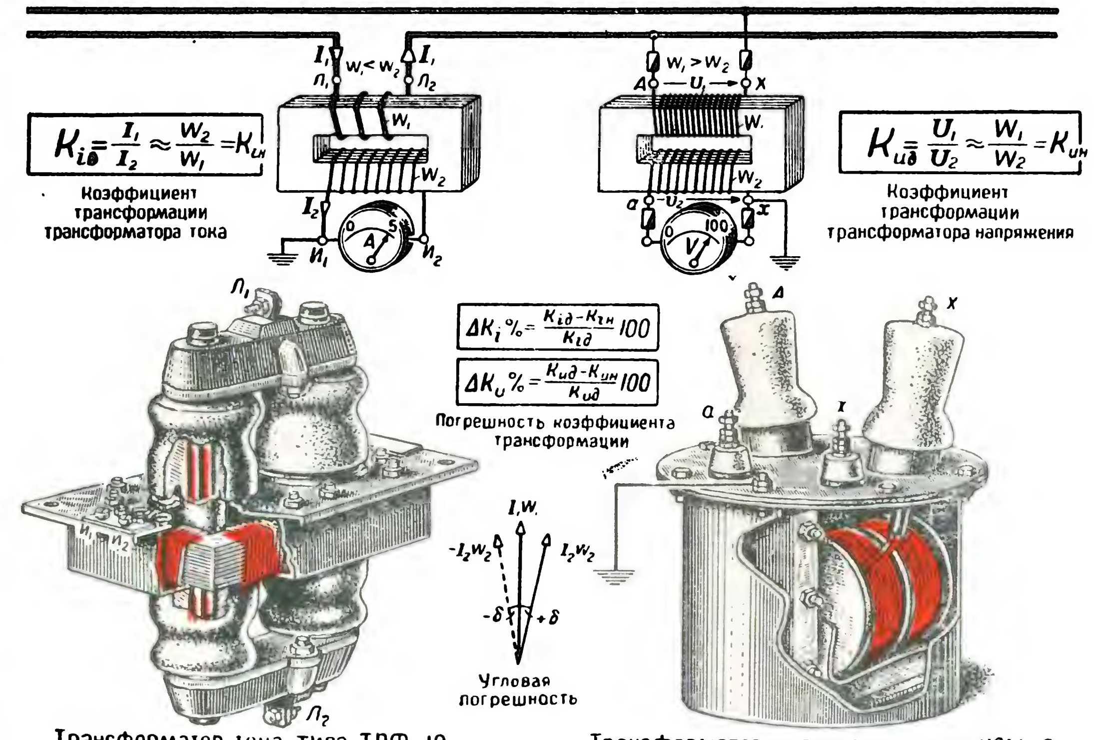
Вибрационные гальванометры пригодны только для переменного тока

Гальванометры широко используются в качестве нулевых приборов

Ш. М. Алукер

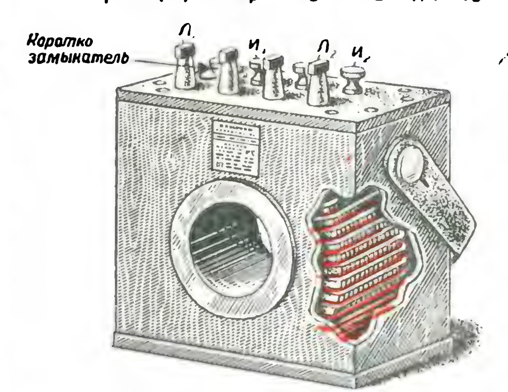
Худ. А. Меньшиков

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

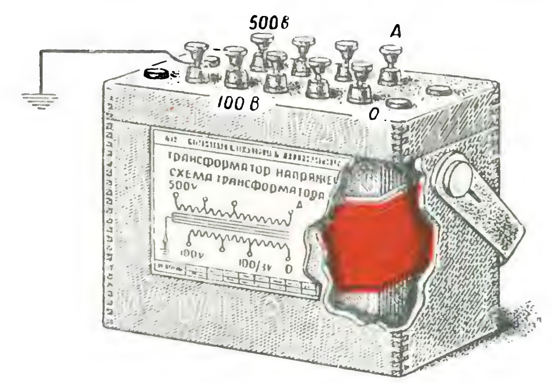


Трансформатор тока типа ТПФ-10

Трансформатор напряжения типа НОМ-10



Лабораторный трансформатор тока



Лабораторный трансформатор напряжения



Измерительные клещи

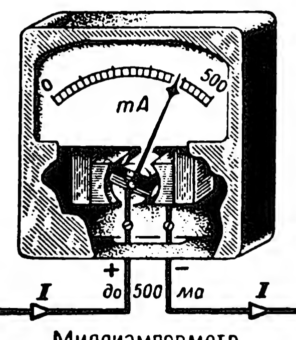
Размыкать вторичную обмотку включенного трансформатора тока недопустимо

Трансформаторы напряжения включаются через ограничительные сопротивления и предохранители

Ш.М. Алукер

Худ. А. Меньшиков

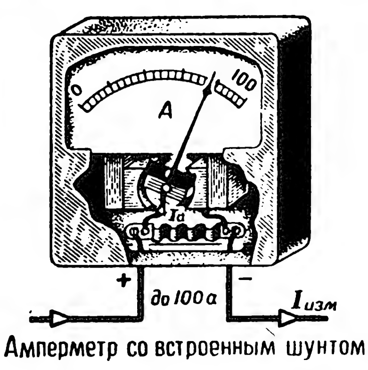
ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА



Миллиамперметр

$$C = \frac{I_н}{N} \frac{ампер}{деление}$$

Цена деления



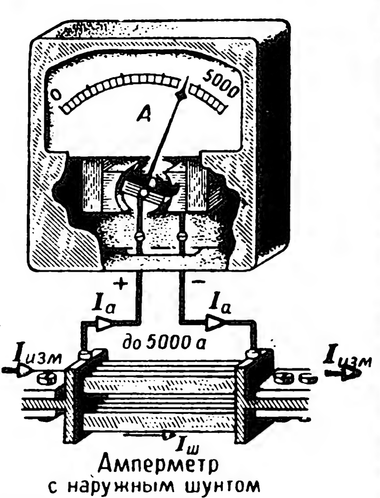
Амперметр со встроенным шунтом

$$r_ш = \frac{r_a}{n-1}\ ом$$

Сопротивление шунта

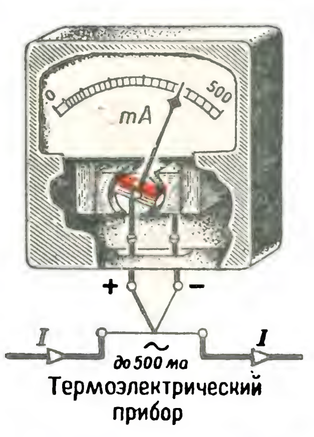
$$n = \frac{I_{изм}}{I_a}$$

Коэффициент шунтирования

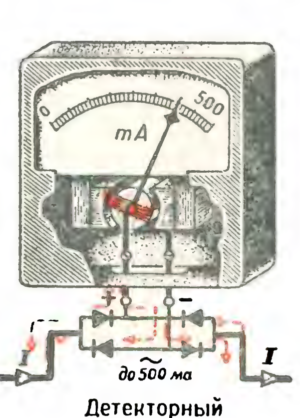


Амперметр с наружным шунтом

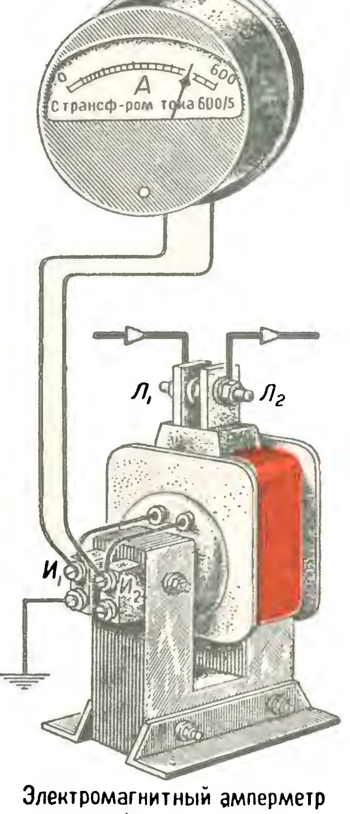
ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

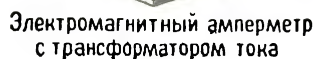


Термоэлектрический прибор

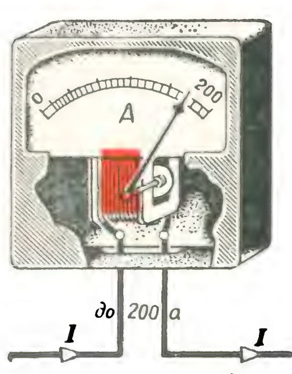


Детекторный прибор

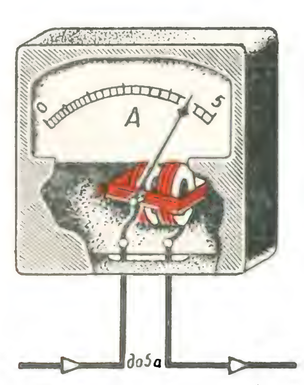




Электромагнитный амперметр с трансформатором тока



Электромагнитный амперметр



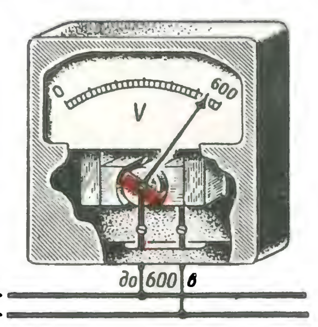
Электродинамический амперметр

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

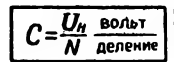
Ш. М. Алукер

Худ. А. Меньшиков

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ



Магнитоэлектрический вольтметр с внутренним добавочн. сопротивлением

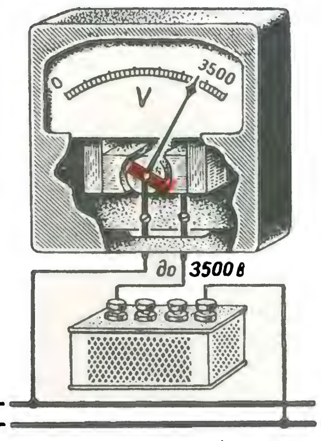


$C=\frac{U_н}{N}\ \frac{вольт}{деление}$

Цена деления

$R_д=R_v(m-1);\ m=\frac{U_{изм}}{U_в}$

Величина добавочного сопротивления



Магнитоэлектрический вольтметр с отдельным добавочным сопротивлением

ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

0 V 150 15

+ −

$R_д$

~

Детекторный вольтметр при малом напряжении

0 V 300

до 300 в

~

Тепловой вольтметр при повышенной и высокой частоте

0 V 300

C

~

− +

Электронный вольтметр при повышенной и высокой частоте

V

С тр-ром напр 42000/100

~

Электромагнитный вольтметр с трансформатором напряжения

0 V 600

до 600 в

~

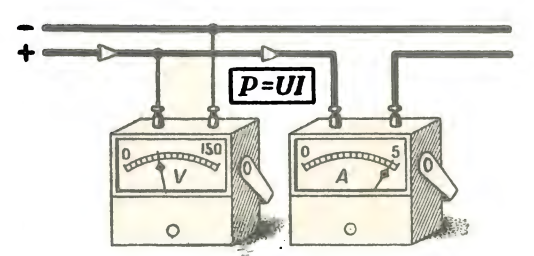
Электромагнитный вольтметр с внутр. добавочным сопротивлением

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

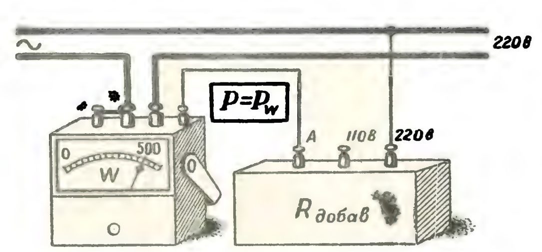
Ш.М. Алукер

Худ А. Меньшиков

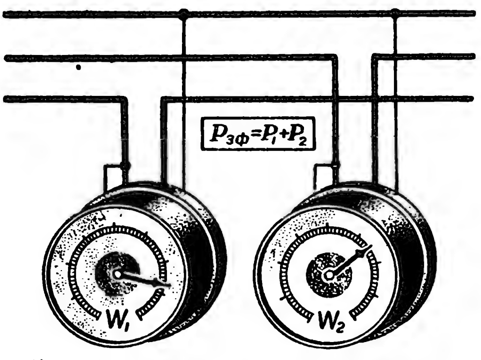
ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ



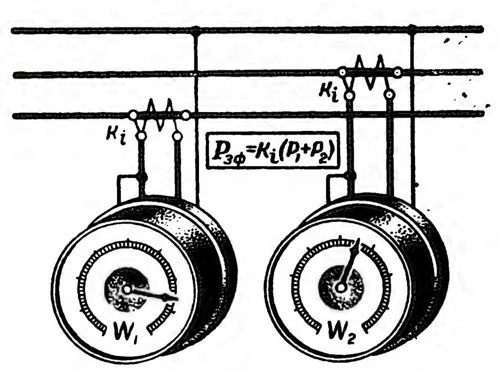
Измерение мощности постоянного тока



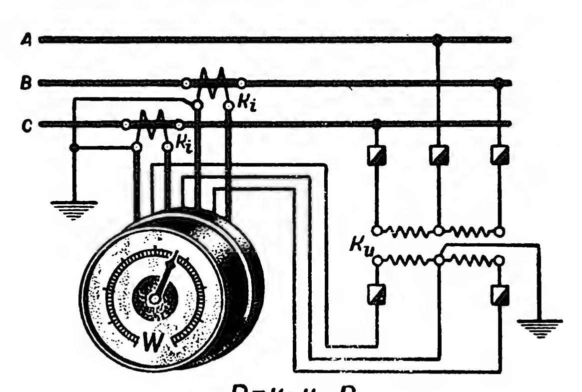
Измерение мощности однофазного тока



Непосредственное включение ваттметров в трехпроводной системе
(См. часть I, гл. 5, табл 10-14)

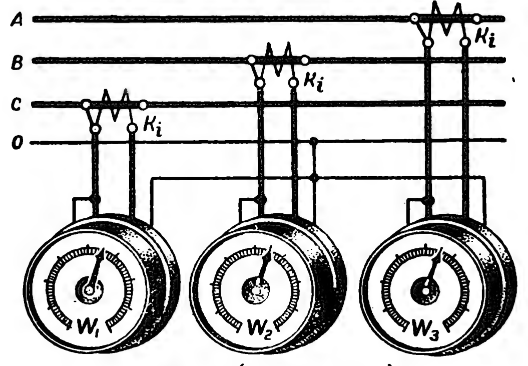


Полукосвенное включение ваттметров в трехпроводной системе



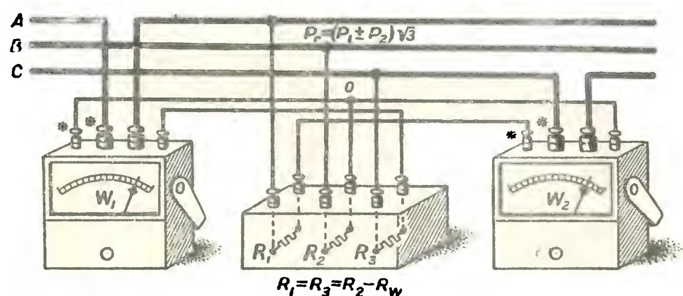
$P = K_i\, K_u\, P_w$

Косвенное включение трехфазного ваттметра в трехпроводной системе



$P = K_i\,(P_{W1} + P_{W2} + P_{W3})$

Полукосвенное включение ваттметров в четырехпроводной системе



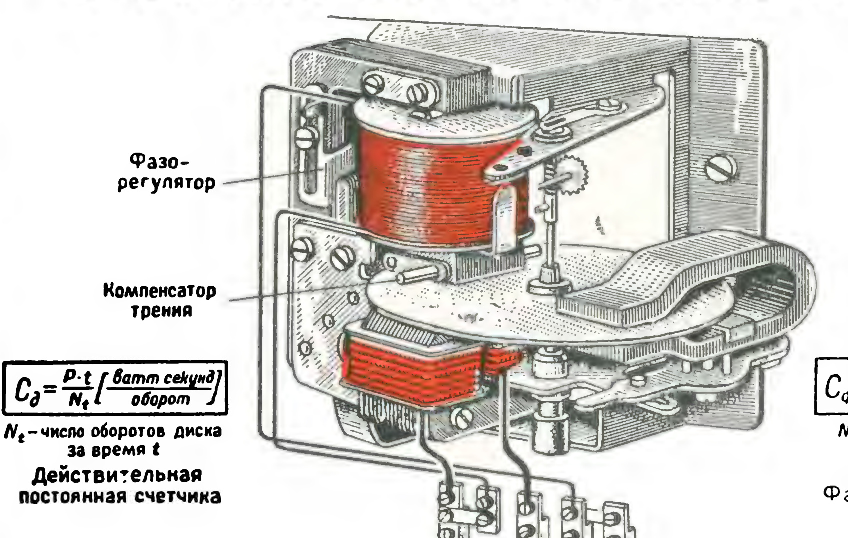
$R_1 = R_3 = R_2 - R_w$

Включение двух ваттметров для измерения реактивной мощности в трехпроводной системе
(См. часть I, гл. 5, табл. 10-14)

Ш.М.Алукер

Худ. А.Меньшиков

СЧЕТЧИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ



$$C_д = \frac{P \cdot t}{N_t} \left[\frac{ватт\ секунд}{оборот}\right]$$

N_t – число оборотов диска за время t

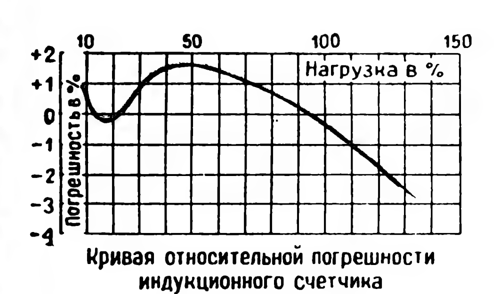
Действительная постоянная счетчика

$$C_ф = \frac{1 \cdot 10^2 \cdot 3600}{N_г} \left[\frac{ватт\ секунд}{оборот}\right]$$

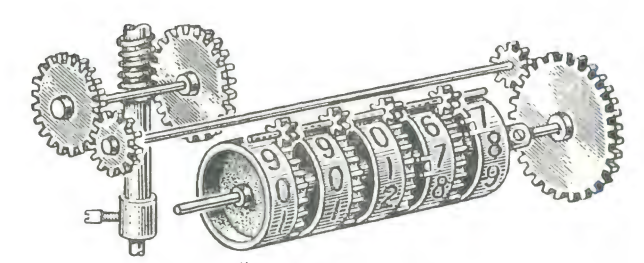
$N_г$ - число оборотов диска, соответствующее одному гектоваттчасу

Фабричная постоянная счетчика

Однофазный индукционный счетчик типа Б



Кривая относительной погрешности индукционного счетчика



Счетный механизм счетчика

$$\Delta C\% = \frac{C_ф - C_д}{C_д} 100$$

Относительная погрешность счетчика

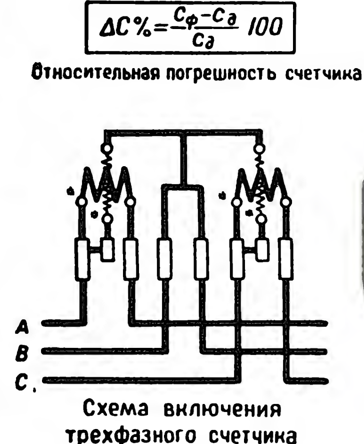
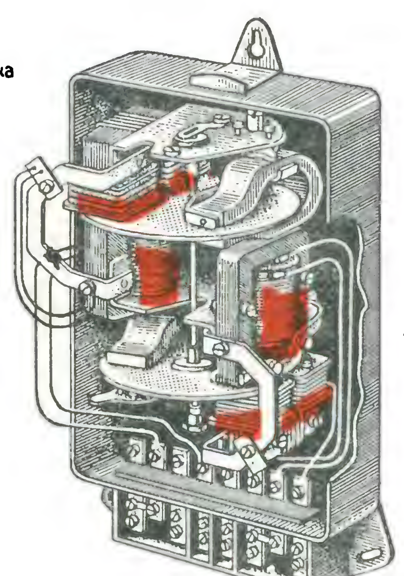


Схема включения трехфазного счетчика типа ИТ



Трехфазный индукционный счетчик типа ИТ

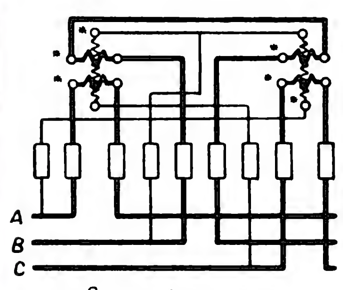


Схема включения трехфазного счетчика реактивной энергии типа ИТР

Ш М Алукер

Худ А. Меньшиков

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

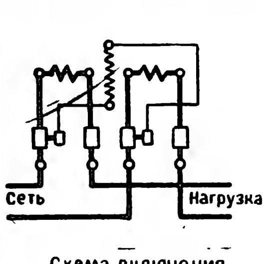
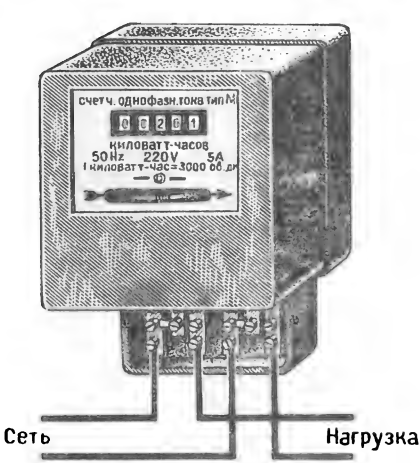


Схема включения счетчика типа М



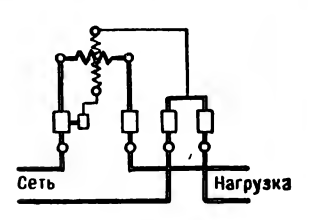
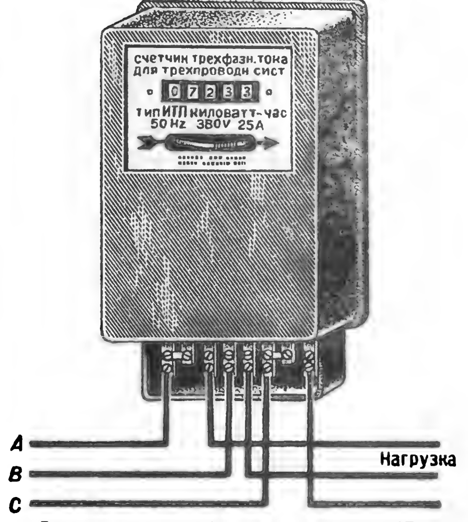
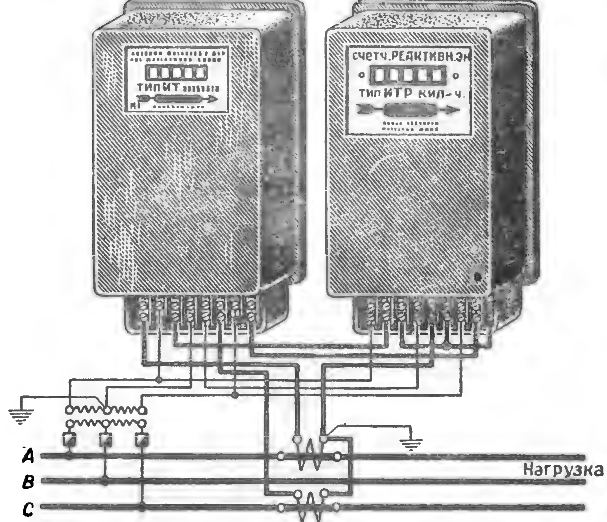


Схема включения счетчика типа Б

Учет электрической энергии однофазным счетчиком М



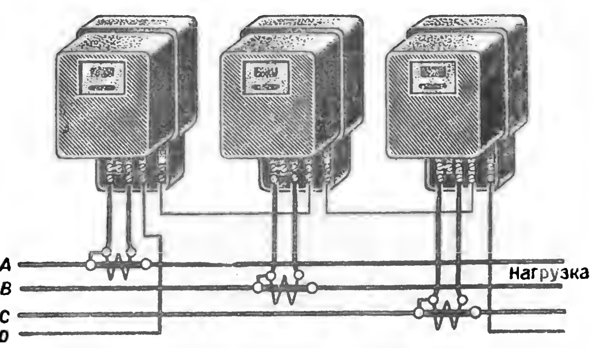
Включение трехфазного счетчика ИТП в трехпроводную сеть



Включение трехфазных счетчиков ИТ и ИТР в трехпроводную сеть через измерительные трансформаторы



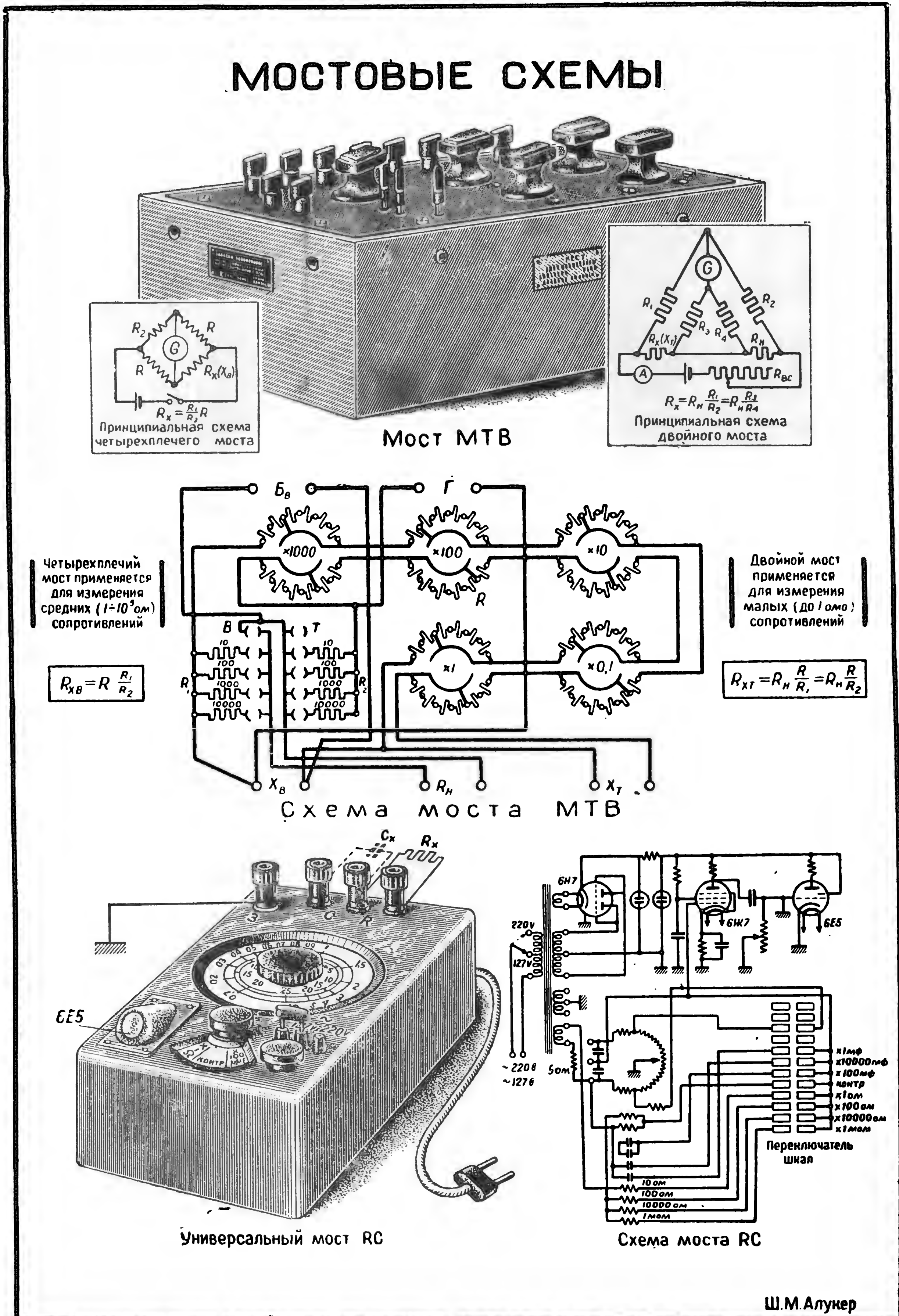
Включение двух однофазных счетчиков типа Б в трехпроводную сеть



Включение трех однофазных счетчиков типа Б в четырехпроводную сеть

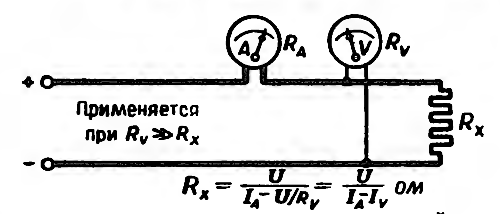
Ш.М.Алукер

Худ А.Меньшиков

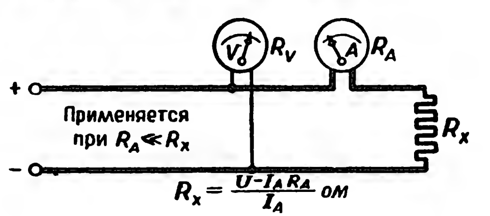


Худ А Меньшиков

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

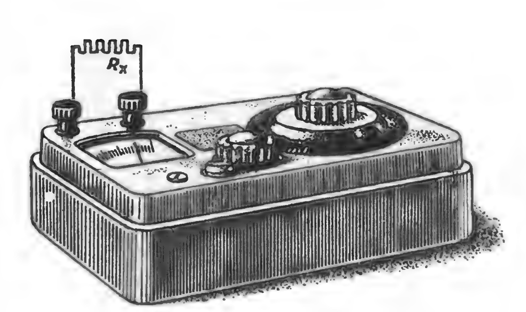


$$R_x = \frac{U}{I_A - U/R_V} = \frac{U}{I_A - I_V} \text{ ом}$$

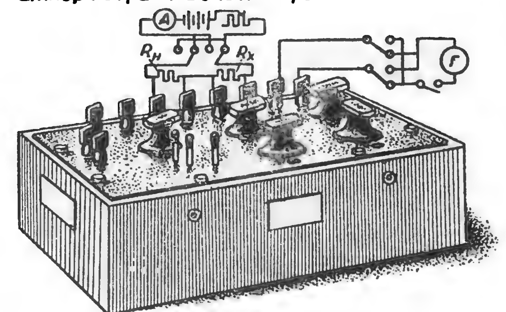


$$R_x = \frac{U - I_A R_A}{I_A} \text{ ом}$$

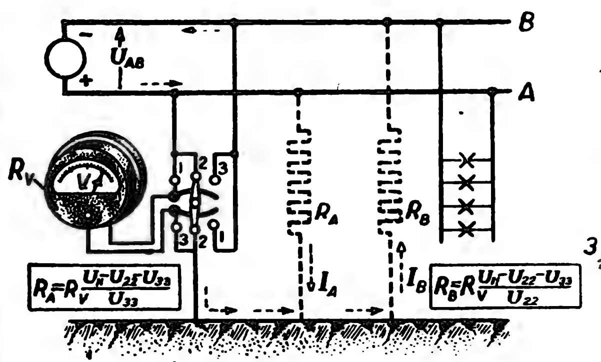
Измерение сопротивлений методом амперметра и вольтметра



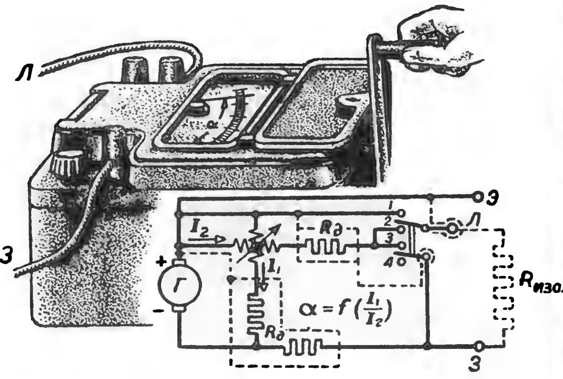
Измерение сопротивлений от 1 до 10^6 омов обыкновенным мостом



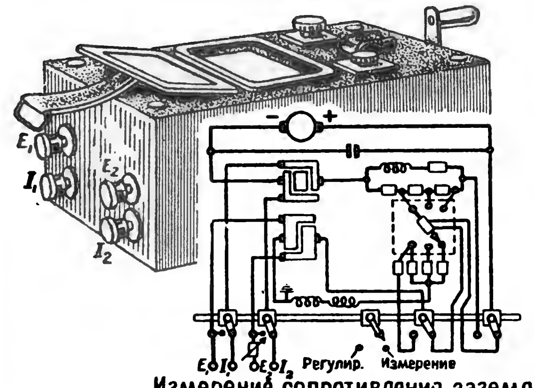
Измерение малых (до 1 ома) сопротивлений универсальным мостом МТВ

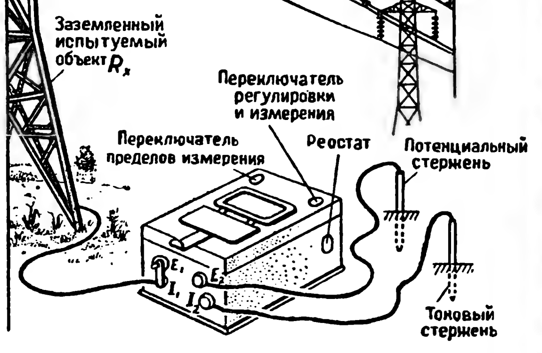


Измерение сопротивления изоляции линии, находящейся под напряжением, методом вольтметра



Измерение сопротивления изоляции мегомметром М-1101





Измерение сопротивления заземления измерителем заземления МС-07

Ш.М.Алукер

Худ. А.Меньшиков

САМОПИШУЩИЕ ПРИБОРЫ

U I I U

Ферродинамический измерительный прибор

W

750 400

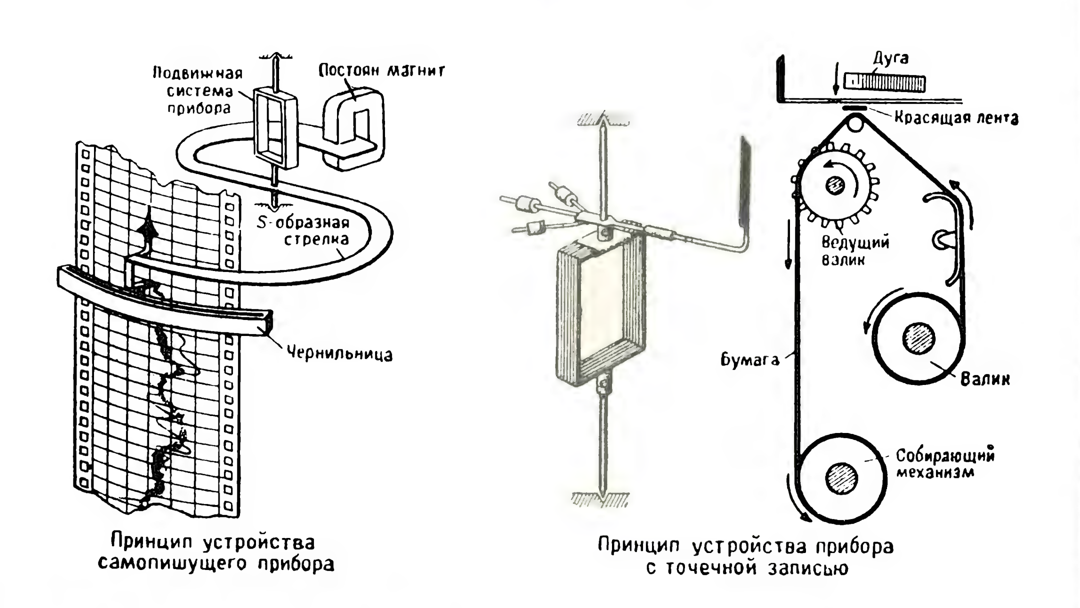
Успокоитель

Тихоходный электродвигатель

Лентопротягивающий механизм

Выключатель

Лентонатягивающий механизм



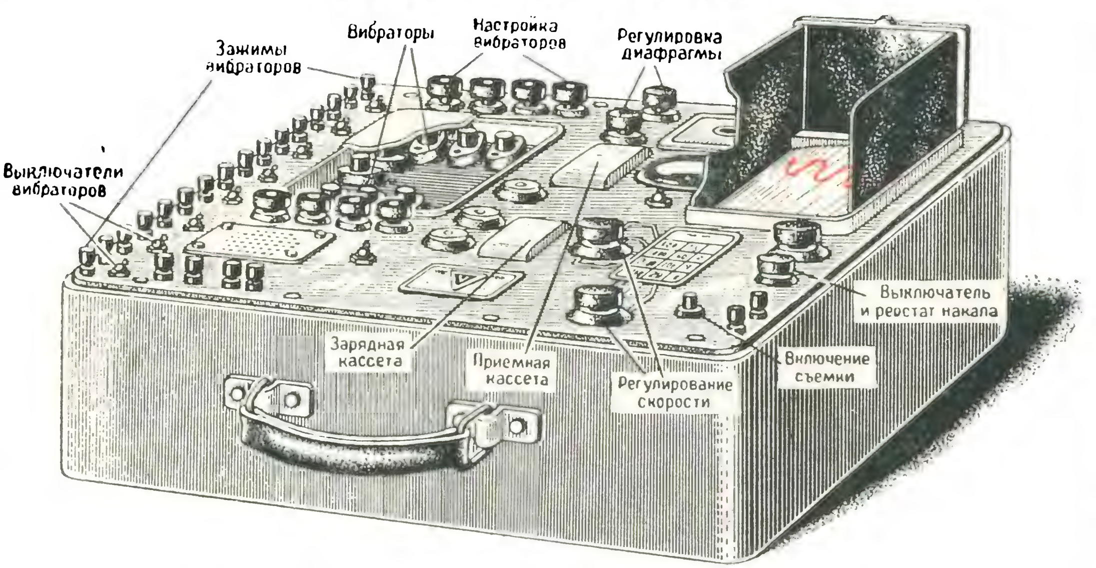
Принцип устройства самопишущего прибора

Принцип устройства прибора с точечной записью

Ш.М Алукер

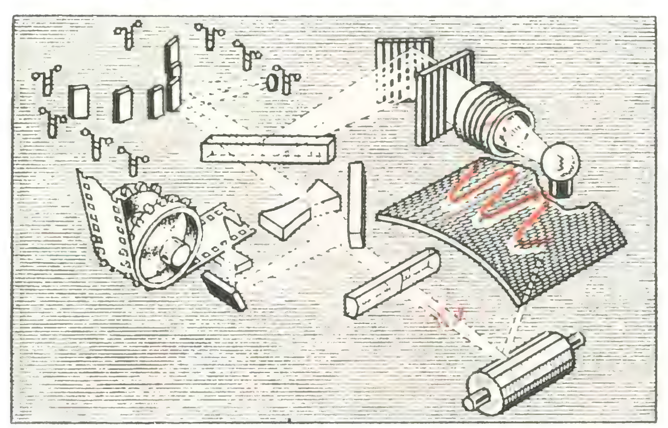
Худ А. Меньшиков

ОСЦИЛЛОГРАФЫ



Магнитоэлектрический переносный осциллограф типа МПО-2

▌Пригоден для исследования процессов с частотой $f \leq 5000$ *герц* ▌



Оптическая система МПО-2

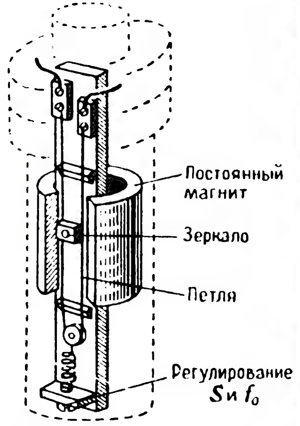


Схема устройства вибратора

Чувствительность — S [*мм/ма*]
Частота собств. колебаний — f_0 [*гц*]
Сопротивление петли — R [*ом*]

Основные параметры вибратора



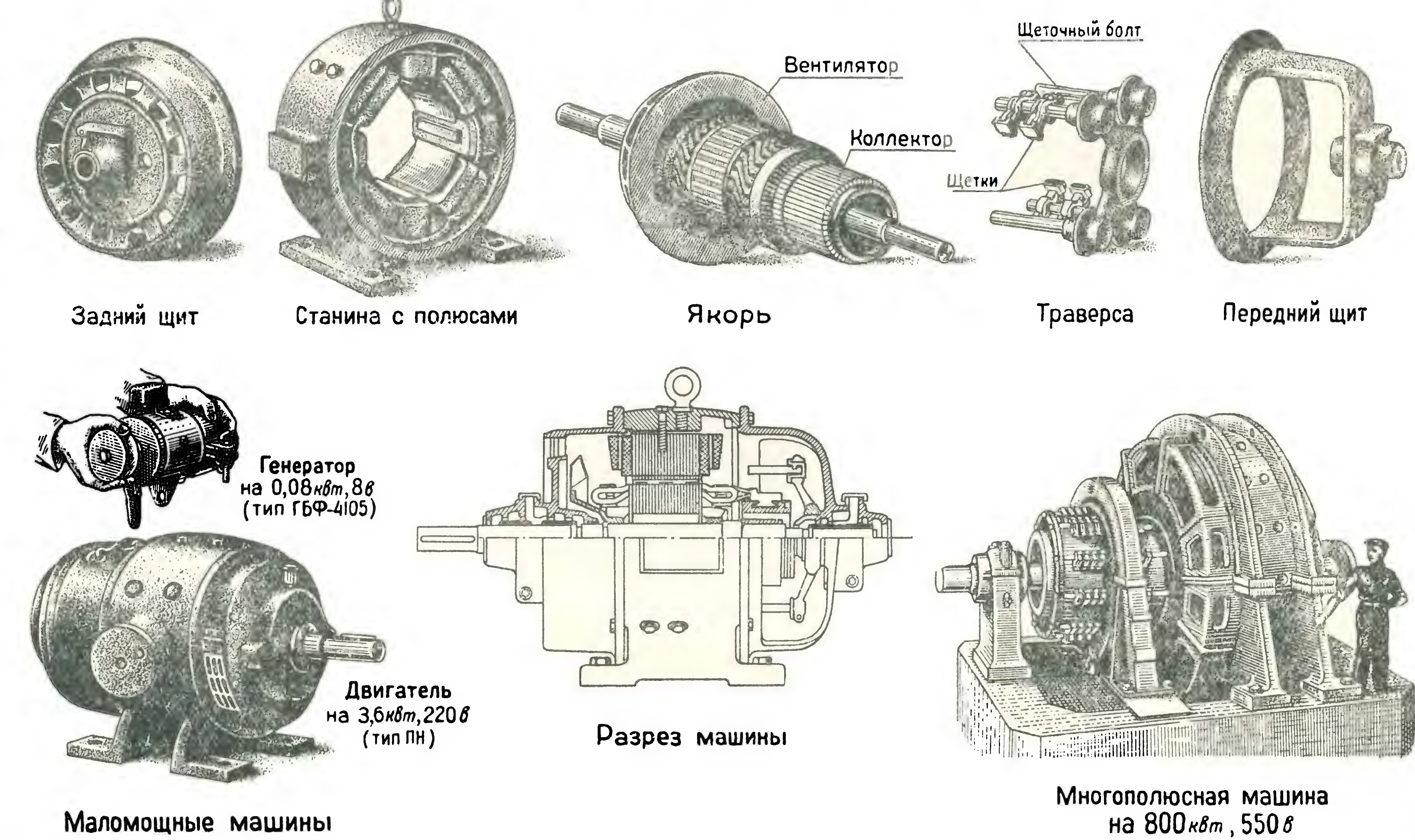
Катодный осциллограф

▌Пригоден для исследования процессов с частотой $f \leq 10^6$ *герц* ▌

▌Осциллографы применяются для наблюдения и записи быстроизменяющихся процессов ▌

Ш.М. Алукер

Худ. А. Меньшиков

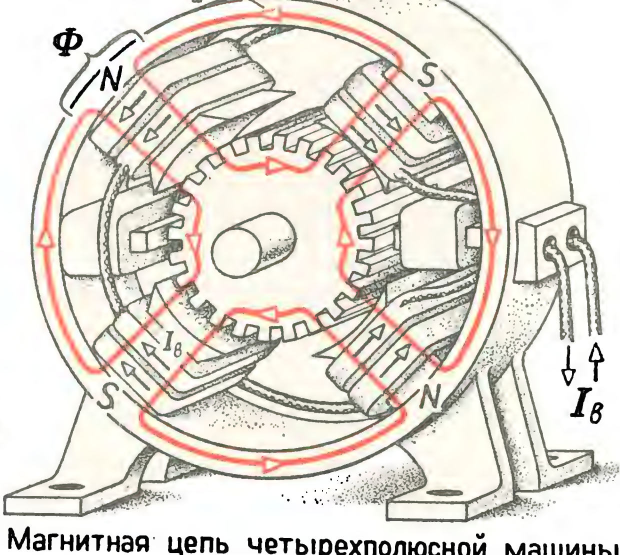


Худ А Меньшиков

МАГНИТНАЯ СИСТЕМА МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

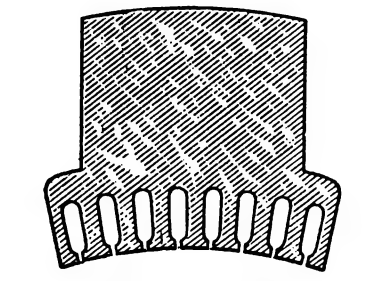


Многополюсная станина генератора на 1500 *квт* с компенсационной обмоткой

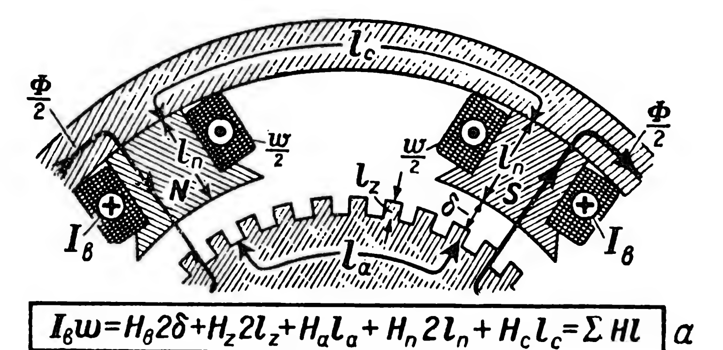


Магнитная цепь четырехполюсной машины

Двухполюсная станина генератора на 0,08 *квт*



Полюс с пазами для компенсационной обмотки



$$I_в w = H_в 2\delta + H_z 2l_z + H_a l_a + H_n 2l_n + H_c l_c = \Sigma Hl \quad a$$

Ампер-витки пары полюсов



Главный полюс

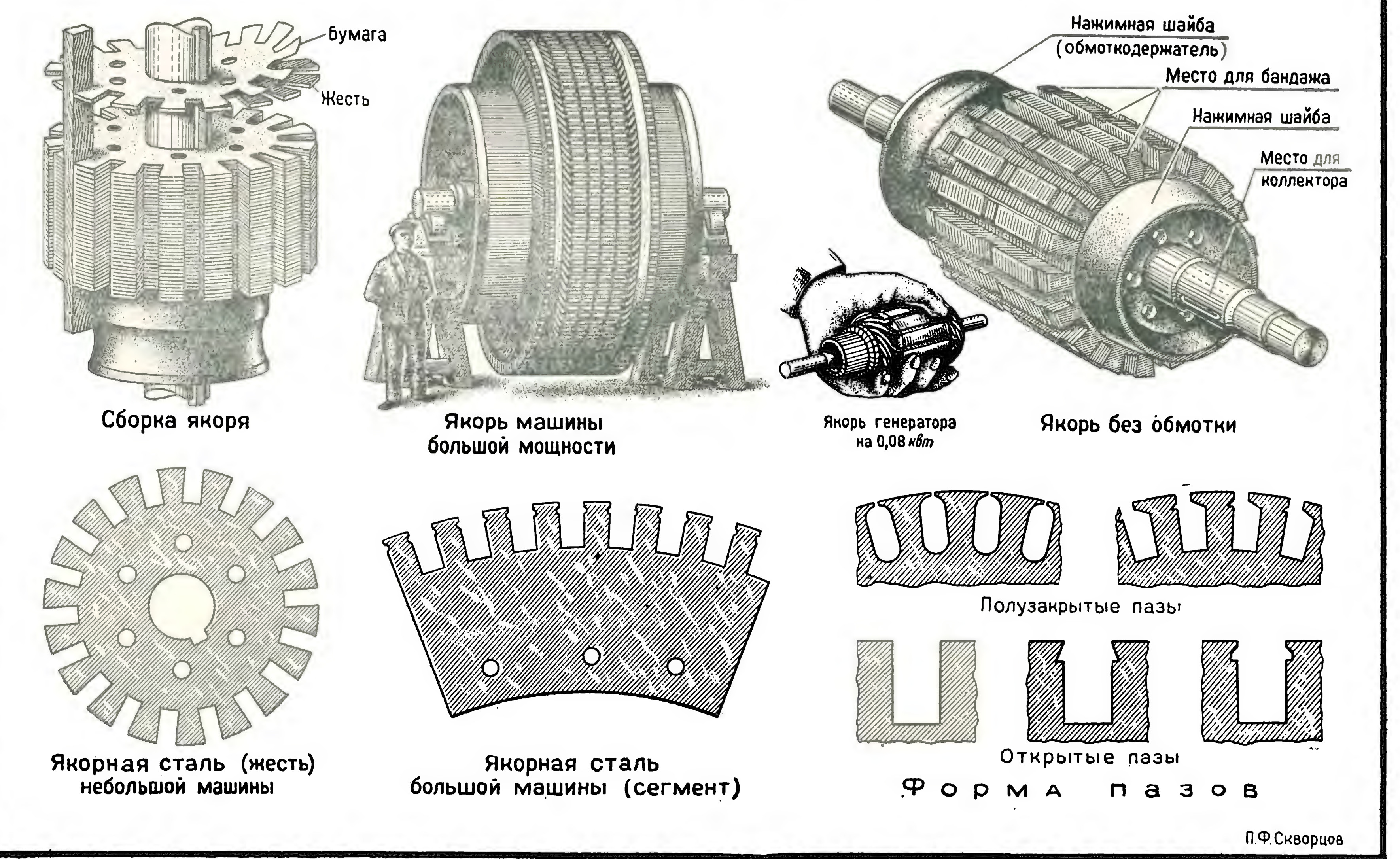
Дополнительный полюс

Обмотка главного полюса

Обмотка дополнительного полюса

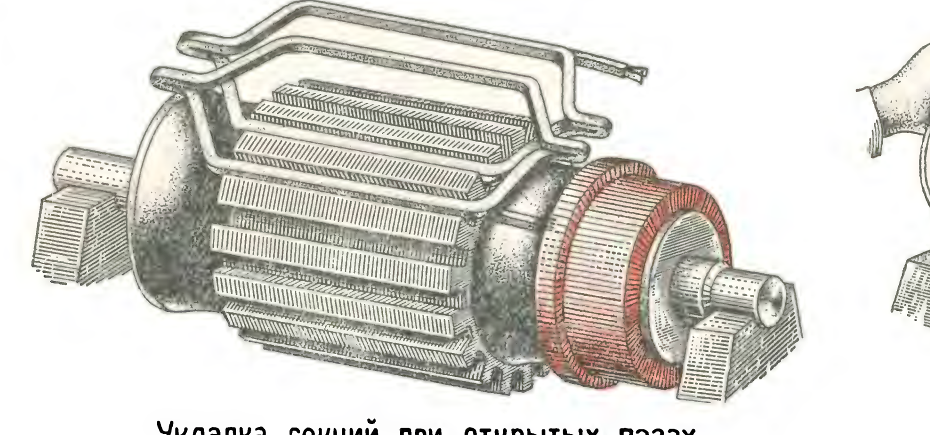
П. Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

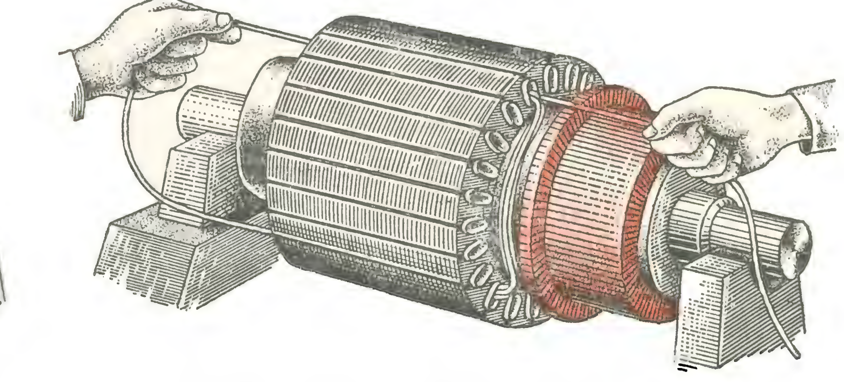


Худ. А. Меньшиков

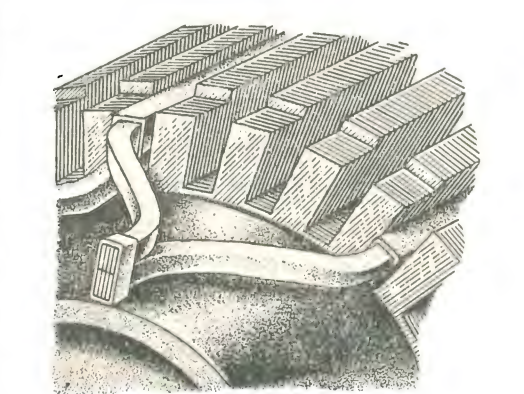
ОБМОТКА ЯКОРЯ



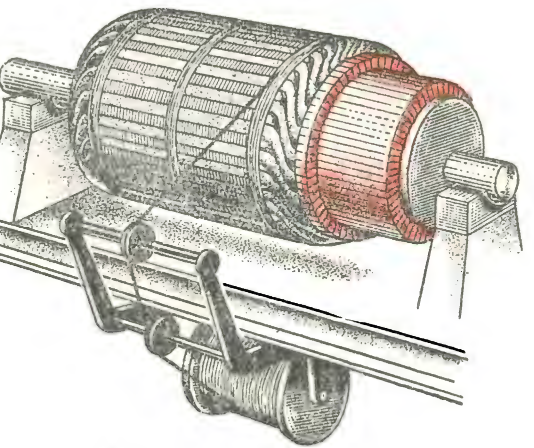
Укладка секций при открытых пазах



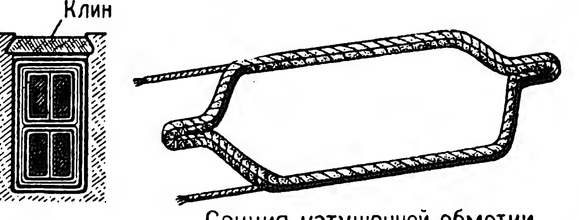
Намотка якоря с полузакрытыми пазами



Двухслойная стержневая обмотка



Бандажировка якоря



Секция катушечной обмотки



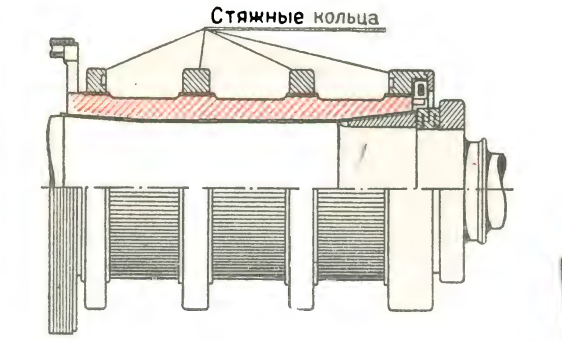
Пазы в разрезе

Полусекции стержневой обмотки

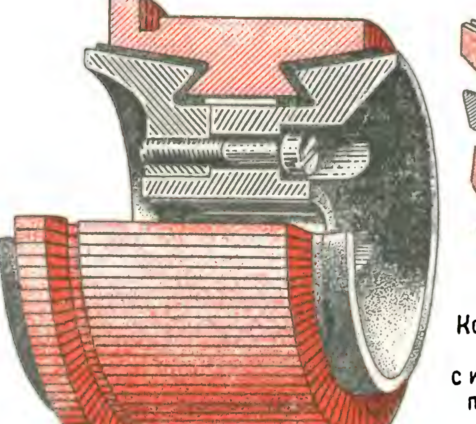
П.Ф. Скворцов

Худ А Меньшиков

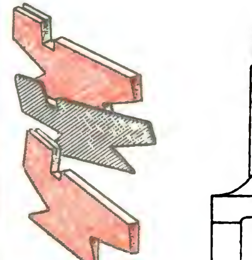
КОММУТАЦИОННАЯ СИСТЕМА



Коллектор быстроходной машины



Разрез коллектора

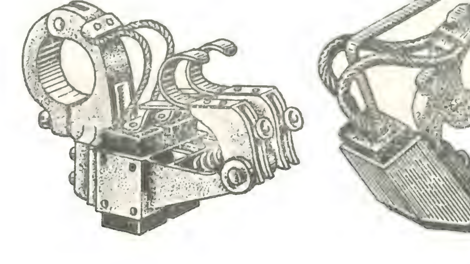


Коллекторные пластины с изолирующей прокладкой

Коллектор тихоходной машины



Лучевая траверса



Щеткодержатели со щетками



Кольцевая траверса

П.Ф Скворцов

Худ. А.Меньшиков



Лобовая часть

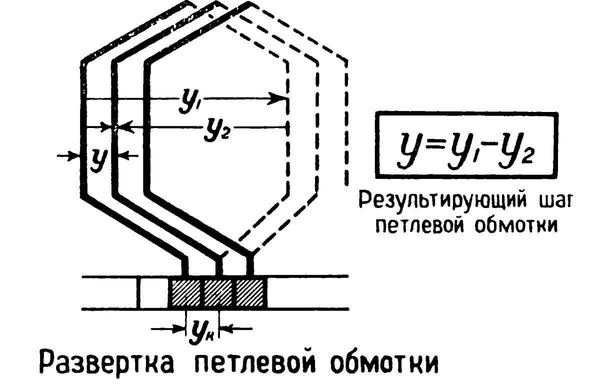
Активная часть

Секция петлевой обмотки

Полюсное деление

Секция волновой обмотки

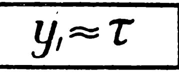
Частичные (y_1, y_2) и результирующий (y) шаги обмотки



Развертка петлевой обмотки

$y = y_1 - y_2$

Результирующий шаг петлевой обмотки



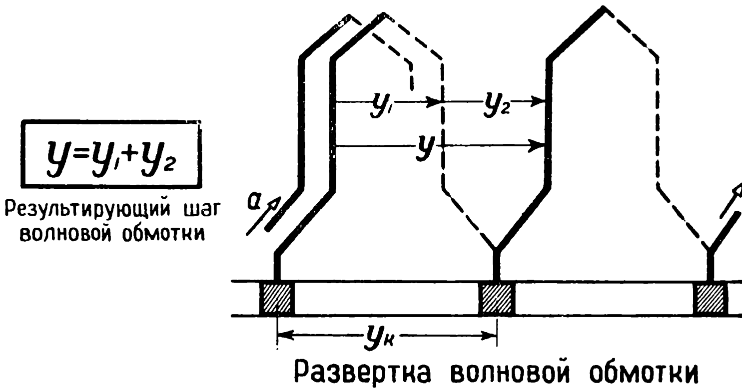
Первый шаг обмотки

$y_к = \frac{y}{2}$

Шаг по коллектору

$y = y_1 + y_2$

Результирующий шаг волновой обмотки

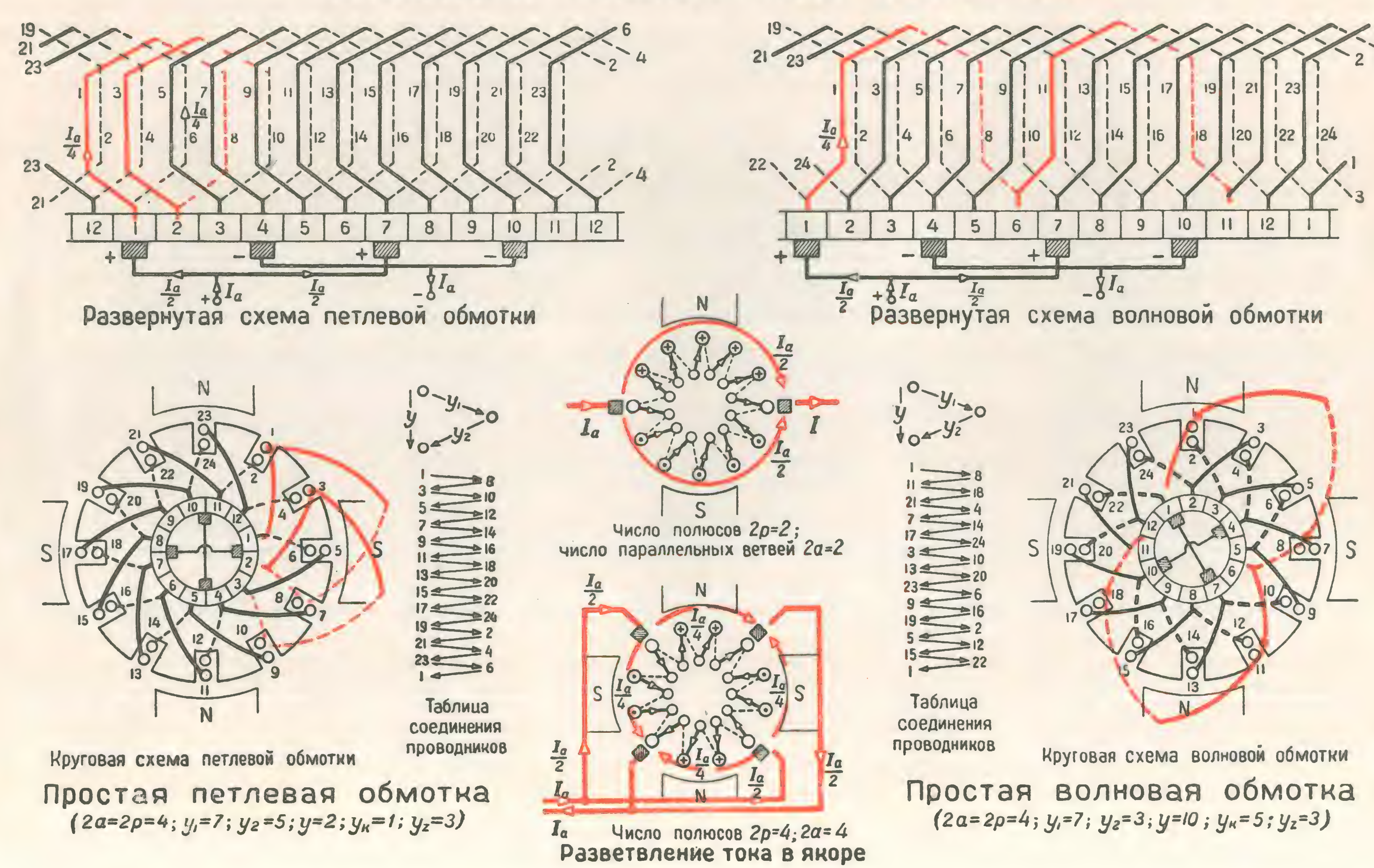


Развертка волновой обмотки

П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

СХЕМЫ ОБМОТОК ЯКОРЯ



Простая петлевая обмотка

($2a=2p=4$; $y_1=7$; $y_2=5$; $y=2$; $y_к=1$; $y_z=3$)

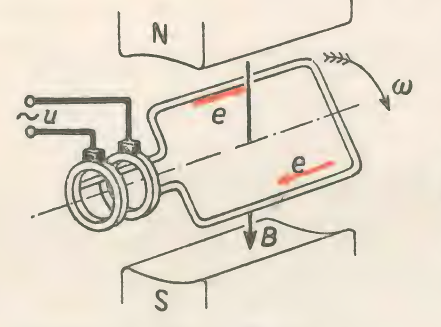
Простая волновая обмотка

($2a=2p=4$; $y_1=7$; $y_2=3$; $y=10$; $y_к=5$; $y_z=3$)

П.Ф. Скворцов

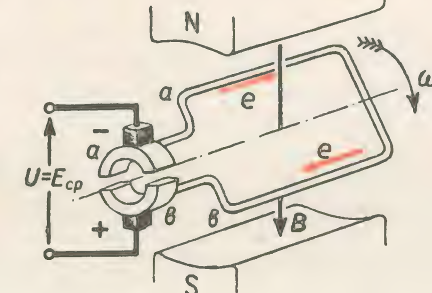
Худ А Меньшиков

ВЫПРЯМЛЕНИЕ ТОКА

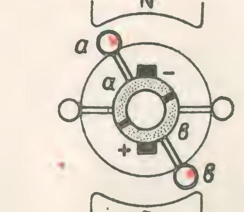


Наведение переменной э.д.с. во вращающемся витке

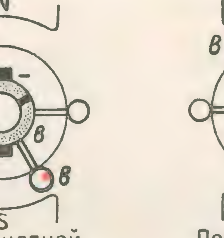
$$e = E_{макс} \sin \omega t \quad в$$



Выпрямление тока простейшим коллектором

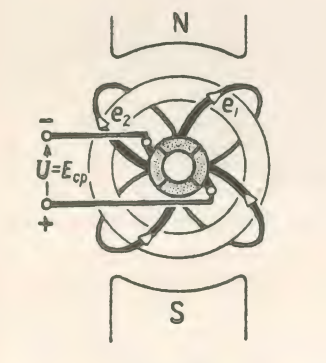


Под верхней щеткой отрицательная коллекторная пластина a

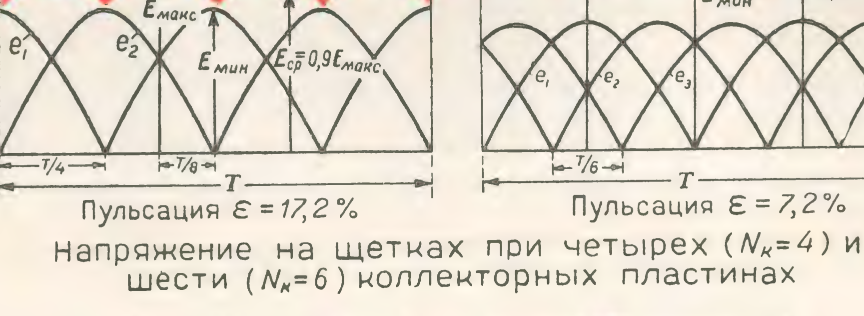


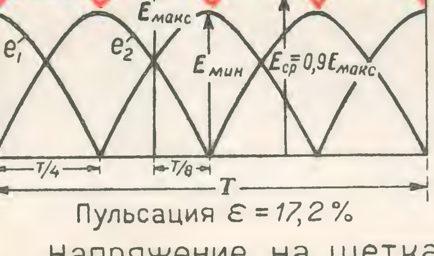
Под верхней щеткой отрицательная коллекторная пластина $в$

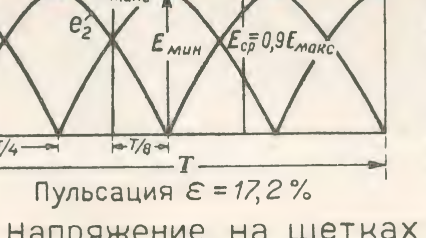
Пульсация $\varepsilon = 100\%$



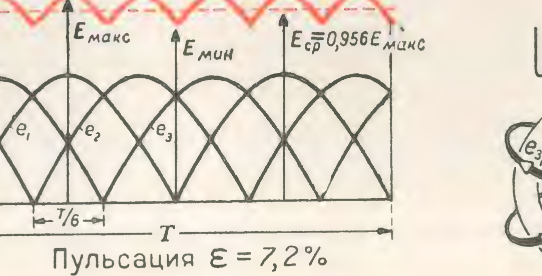
Якорь с четырьмя витками кольцевой обмотки





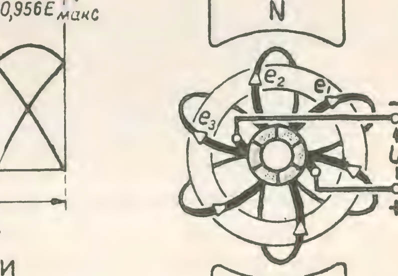


Пульсация $\varepsilon = 17,2\%$

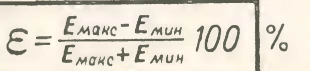


Пульсация $\varepsilon = 7,2\%$

Напряжение на щетках при четырех ($N_к = 4$) и шести ($N_к = 6$) коллекторных пластинах



Якорь с шестью витками кольцевой обмотки



$$\varepsilon = \frac{E_{макс} - E_{мин}}{E_{макс} + E_{мин}} 100 \ \%$$

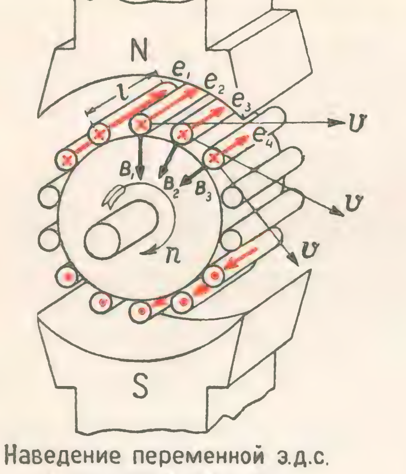
$$\frac{E_{мин}}{E_{макс}} = \cos \frac{\pi}{N_к}$$

Пульсация выпрямленного напряжения

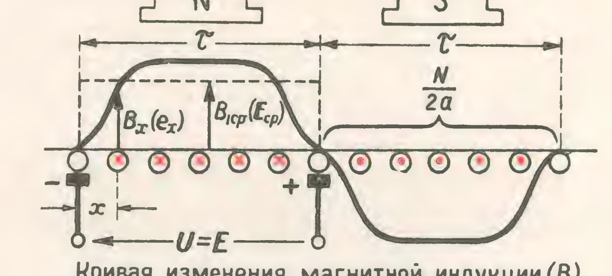
П.Ф.Скворцов

Худ. А. Меньшиков

ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА (Э.Д.С.) ЯКОРЯ



Наведение переменной э.д.с. в проводниках якоря

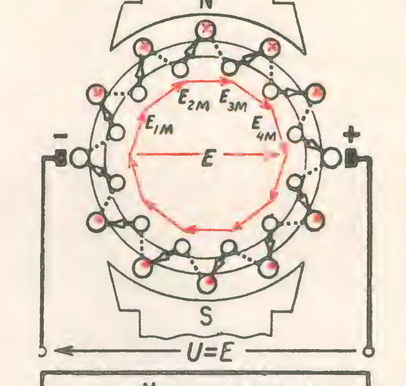


Кривая изменения магнитной индукции (B) в воздушном зазоре — кривая изменения э.д.с. (e) в проводнике

$e_x = B_x l v$ в

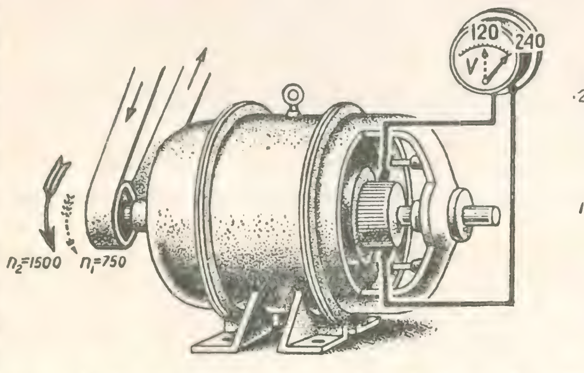
$E_{1cp} = B_{cp} l v$ в

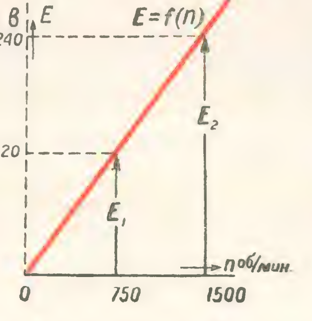
Мгновенное и среднее значения э.д.с. проводника



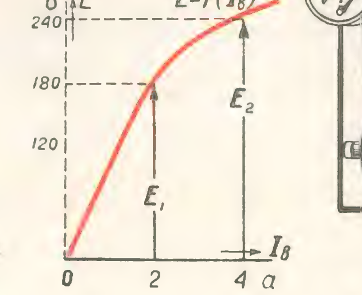
$E = \frac{N}{2a} E_{1cp} = \frac{pn}{60a} N\Phi$ в

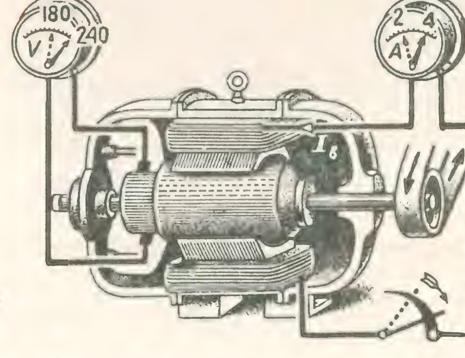
Э.д.с. якоря равна сумме э.д.с. проводников $\left(\frac{N}{2a}\right)$ одной параллельной ветви





Изменение э.д.с. якоря (E) с изменением его числа оборотов (n)



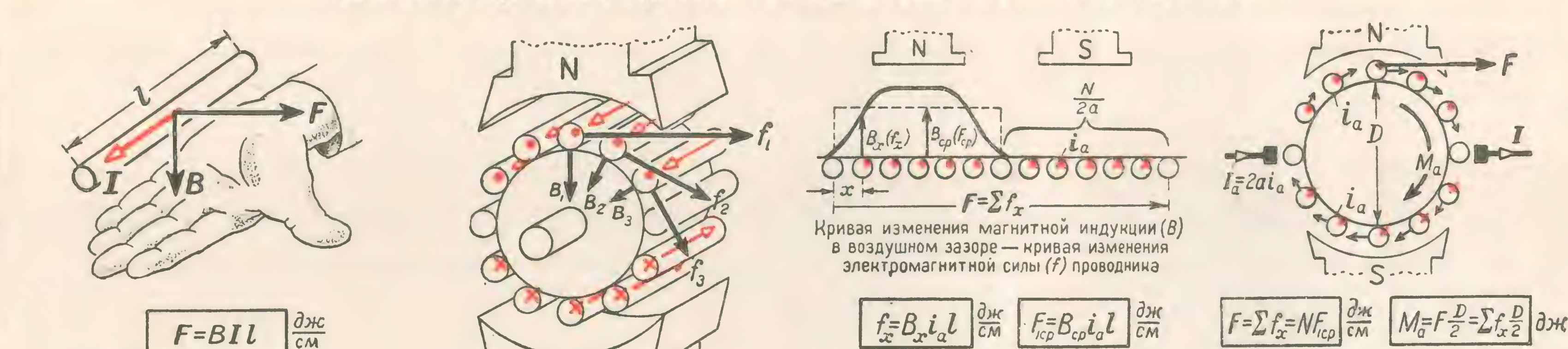


Изменение э.д.с. якоря (E) с изменением тока возбуждения ($I_в$)

П.Ф. Скворцов

Худ А Меньшиков

ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ ЯКОРЯ



$F=BIl$ дж/см

Электромагнитная сила (F) проводника (сила, действующая на проводник с током в магнитном поле)

Электромагнитная сила проводников якоря

Кривая изменения магнитной индукции (B) в воздушном зазоре — кривая изменения электромагнитной силы (f) проводника

$f_x=B_x i_a l$ дж/см $F_{1cp}=B_{cp} i_a l$ дж/см

Мгновенное и среднее значения электромагнитной силы проводников

$F=\sum f_x=NF_{1cp}$ дж/см

Окружное усилие (F) якоря (сумма электромагнитных сил всех N проводников якоря)

$M_a=F\frac{D}{2}=\sum f_x\frac{D}{2}$ дж

Вращающий момент якоря (сумма электромагнитных моментов всех N проводников якоря)

$M_a=\frac{pN}{a2\pi}I_a\Phi$ дж $M_a=CI_a\Phi$ дж $M_a=0{,}102\frac{pN}{a2\pi}\cdot I_a\Phi$ кГм

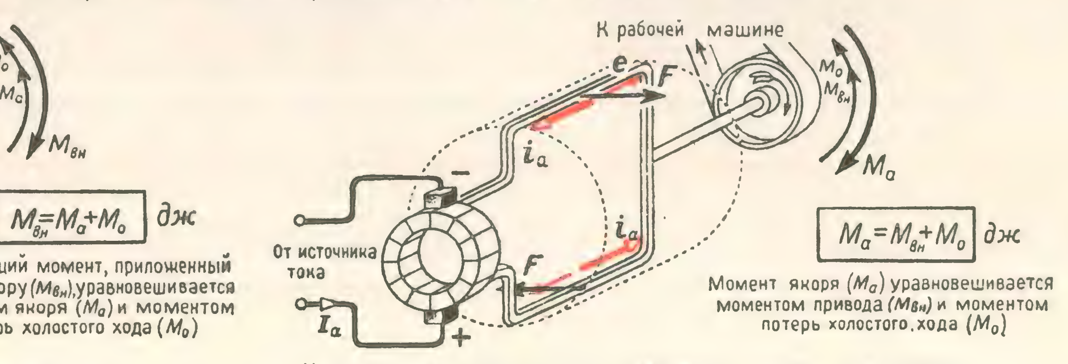
Вращающий момент якоря (электромагнитный момент якоря)



$M_{вн}=M_a+M_0$ дж

Вращающий момент, приложенный к генератору ($M_{вн}$), уравновешивается моментом якоря (M_a) и моментом потерь холостого хода (M_0)

Направление вращающего момента якоря генератора



$M_a=M_{вн}+M_0$ дж

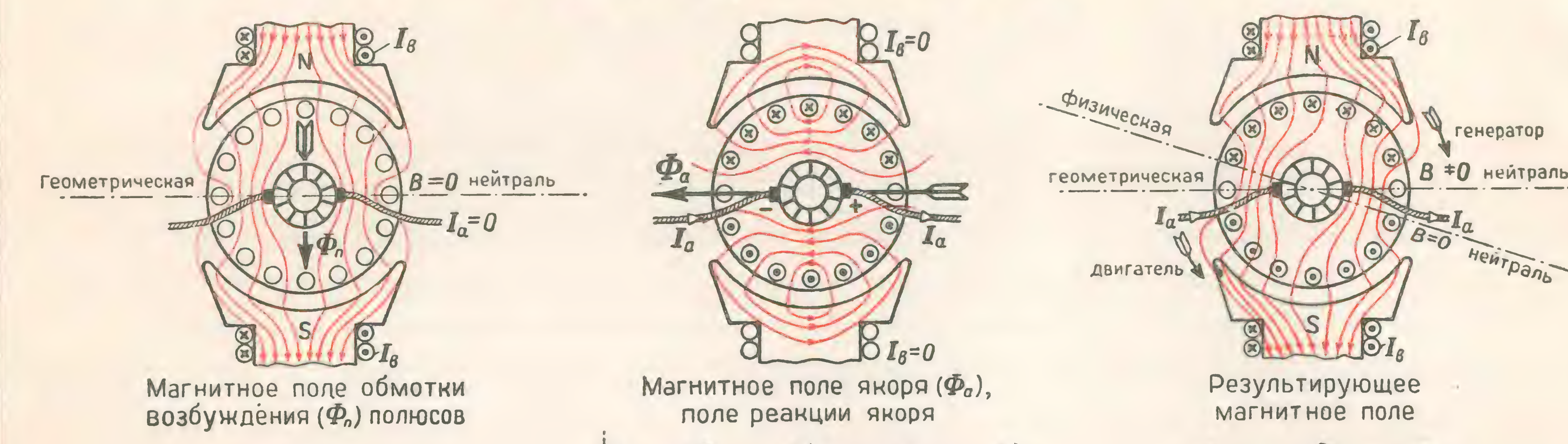
Момент якоря (M_a) уравновешивается моментом привода ($M_{вн}$) и моментом потерь холостого хода (M_0)

Направление вращающего момента якоря двигателя

П.Ф.Скворцов

Худ. А. Меньшиков

РЕАКЦИЯ ЯКОРЯ



Магнитное поле обмотки возбуждения ($\Phi_п$) полюсов

Магнитное поле якоря (Φ_a), поле реакции якоря

Результирующее магнитное поле

Кривая распределения магнитного поля возбуждения

Кривая распределения магнитного поля якоря

Кривая результирующего магнитного поля

$$F_п = I_в w_п$$ a

Намагничивающая сила ($F_п$) полюсов

$$F_a = \frac{i_a N}{\pi D}\tau = \tau AS$$ a

Намагничивающая сила (F_a) якоря

$$\dot{F} = \dot{F}_п + \dot{F}_a$$ a

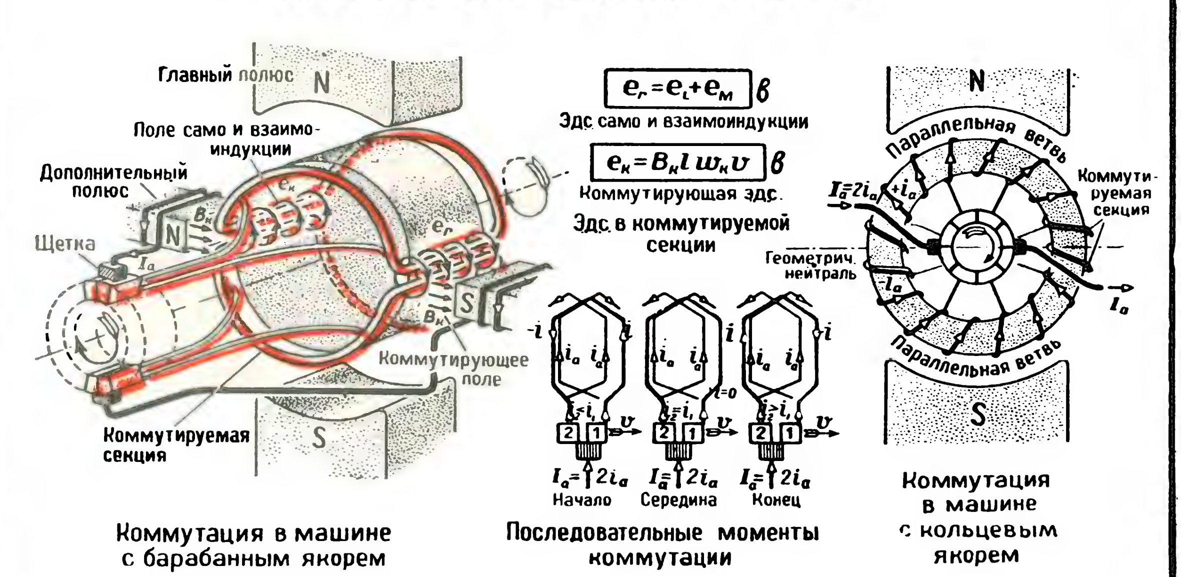
Результирующая намагничивающая сила (F)

Реакция якоря — воздействие поля якоря на поле возбуждения

П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

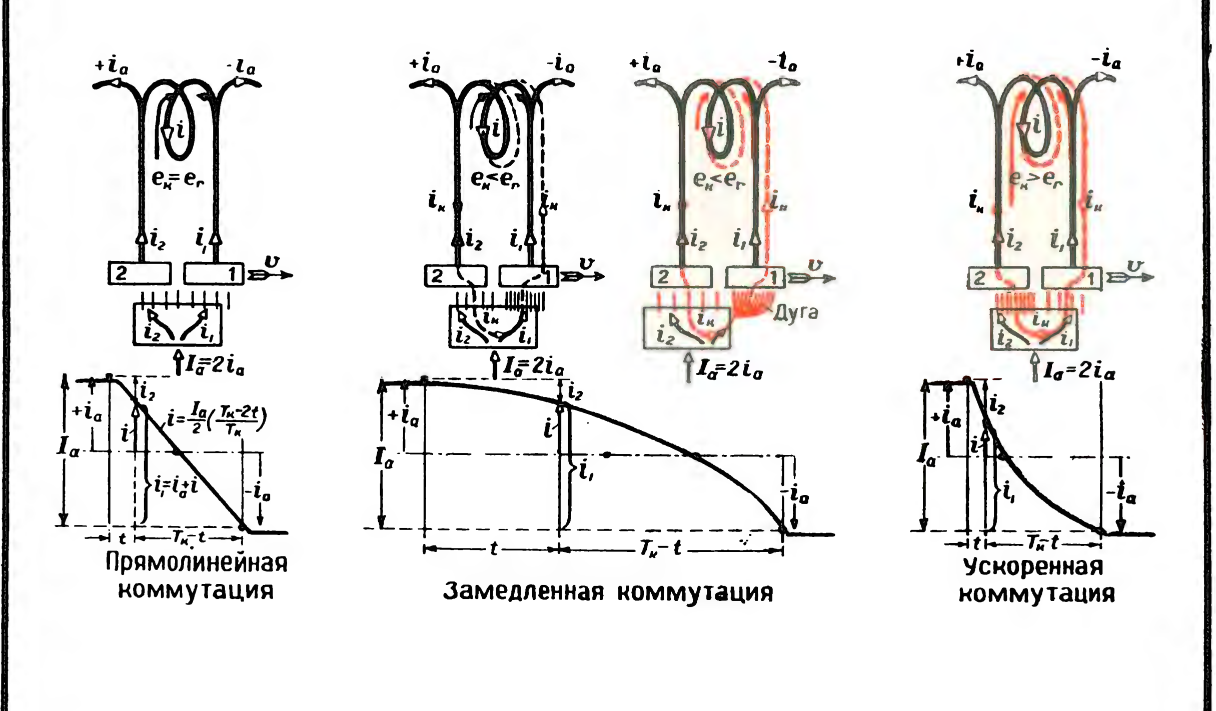
КОММУТАЦИЯ ТОКА



Коммутация в машине с барабанным якорем

Последовательные моменты коммутации

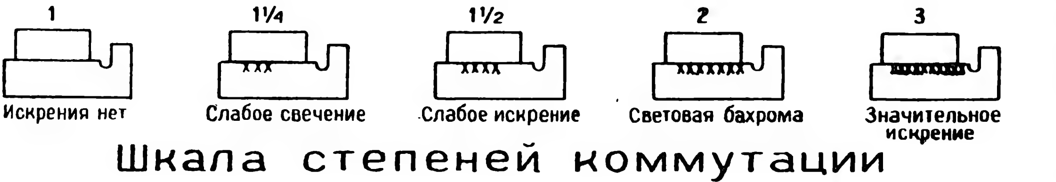
Коммутация в машине с кольцевым якорем



Прямолинейная коммутация

Замедленная коммутация

Ускоренная коммутация



Искрения нет

Слабое свечение

Слабое искрение

Световая бахрома

Значительное искрение

Шкала степеней коммутации

П.Ф.Скворцов

Худ. А. Меньшиков

ГЕНЕРАТОР С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

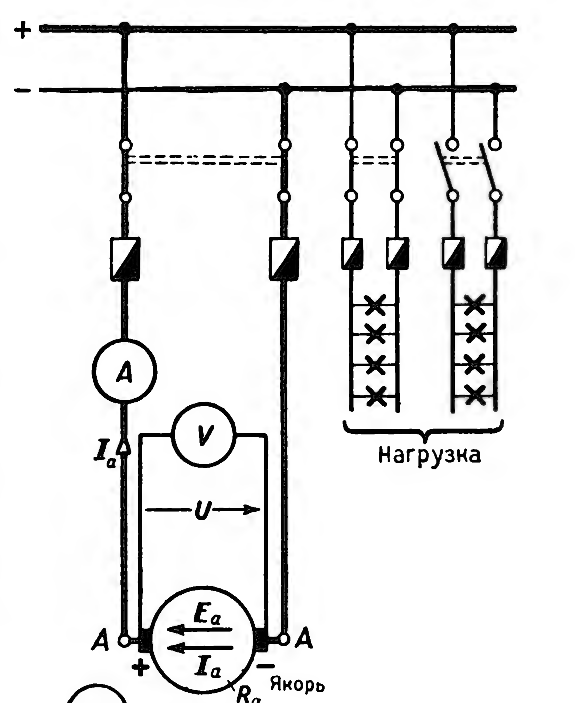
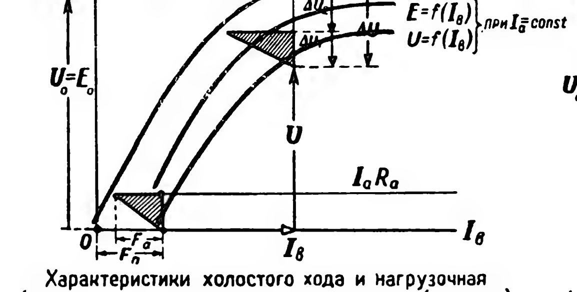
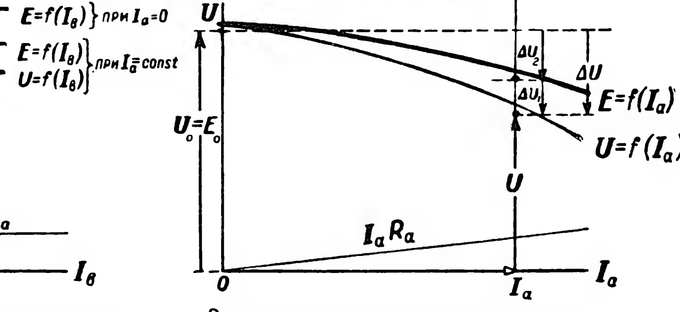


Схема генератора



Характеристики холостого хода и нагрузочная (зависимость э.д.с. и напряжения от тока возбуждения)



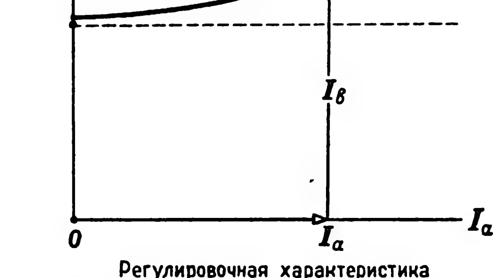
Внешняя и внутренняя характеристики (зависимость напряжения и э.д.с. от тока якоря)

$U_0=E_0$ в $U=E-I_aR_a$ в

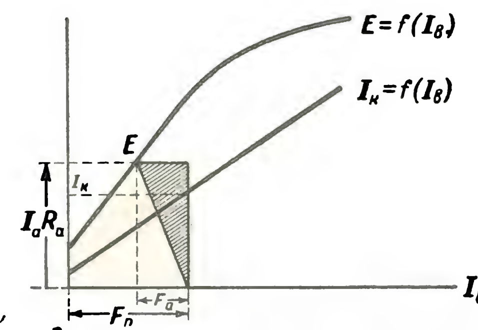
Напряжение генератора при холостом ходе и при нагрузке

$ΔU=ΔU_1+ΔU_2$ в $ΔU_\%=\frac{U_0-U}{U_0}100$ %

Изменение напряжения генератора, вызываемое падением напряжения в цепи якоря ($ΔU_1=I_aR_a$) и реакцией якоря ($ΔU_2$)



Регулировочная характеристика (зависимость тока возбуждения от тока якоря)

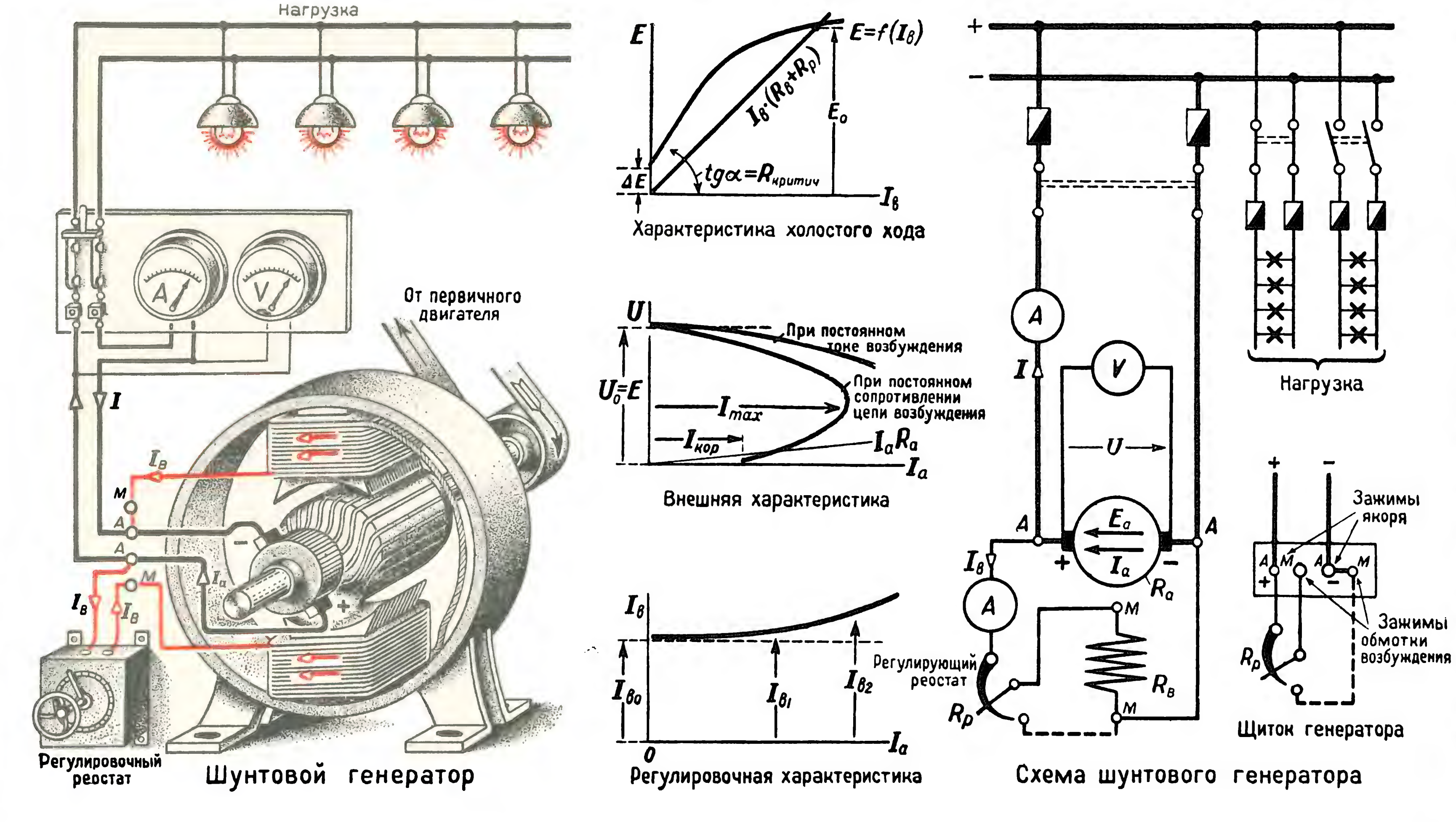


Построение характеристического треугольника по характеристикам холостого хода и короткого замыкания

П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

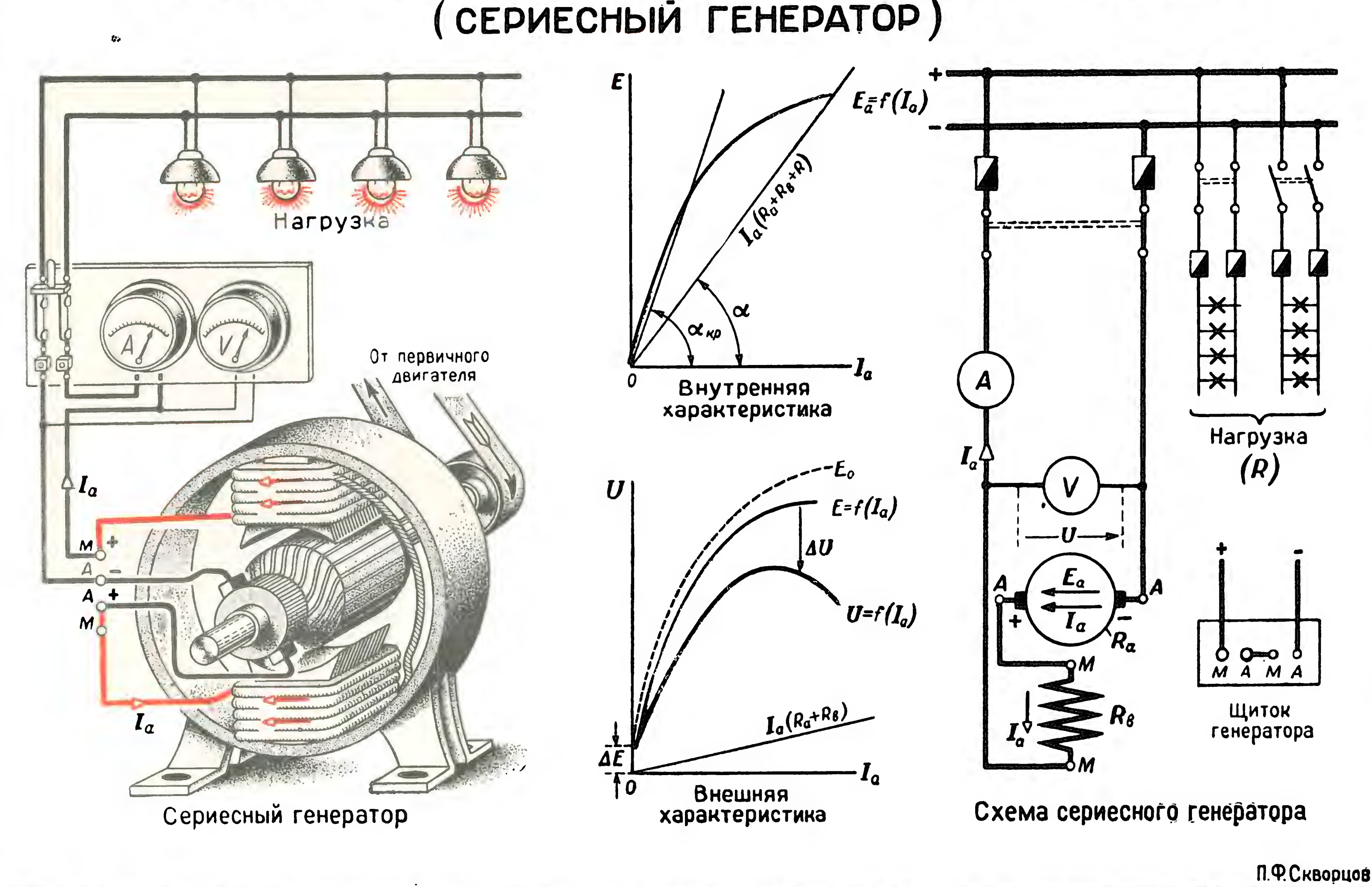
ГЕНЕРАТОР С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ
(ШУНТОВОЙ ГЕНЕРАТОР)



П.Ф. Скворцов

Худ. А.Меньшиков

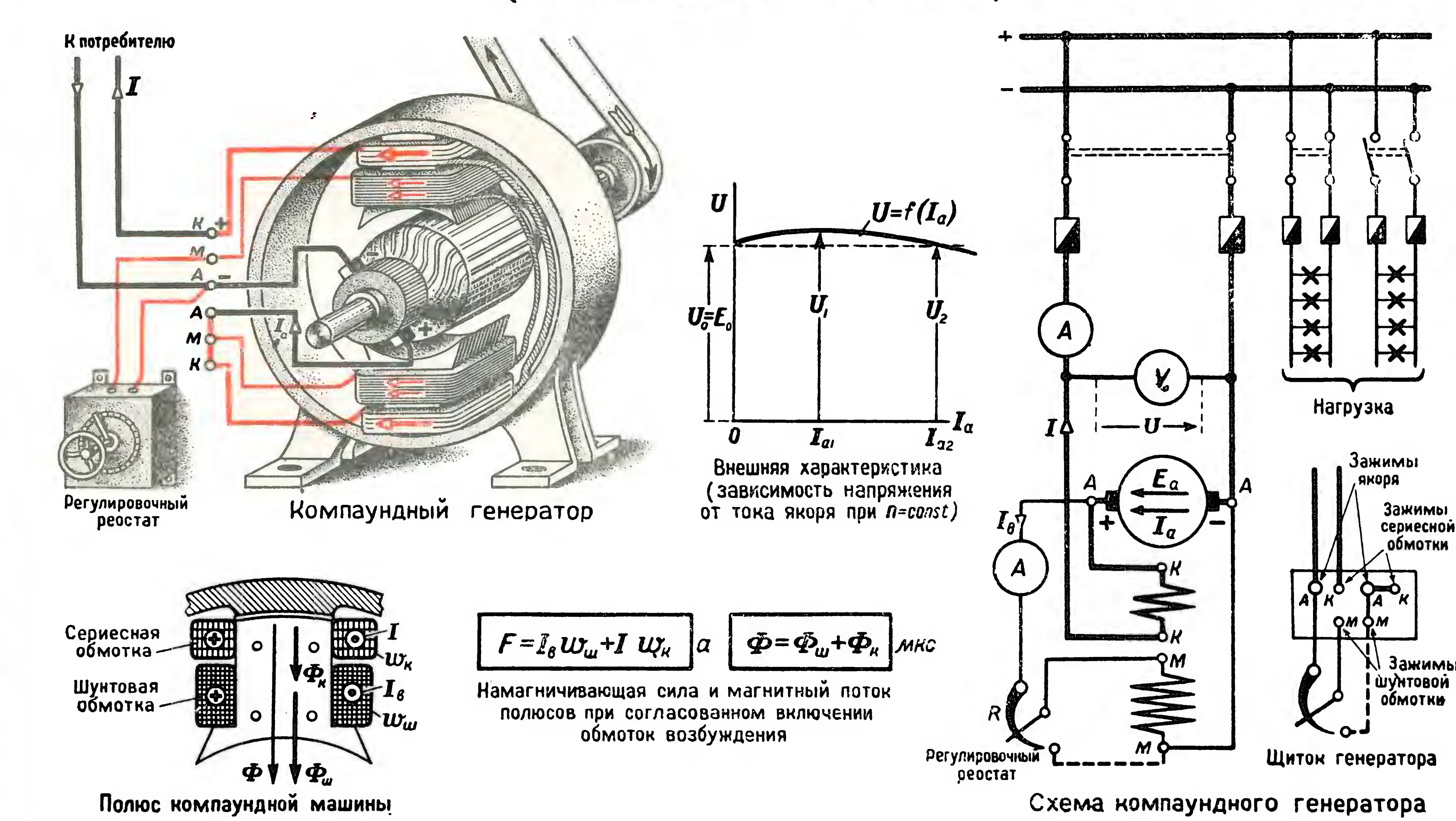
ГЕНЕРАТОР С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ
(СЕРИЕСНЫЙ ГЕНЕРАТОР)



П.Ф.Скворцов

Худ. А. Меньшиков

ГЕНЕРАТОР СО СМЕШАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ
(КОМПАУНДНЫЙ ГЕНЕРАТОР)



П. Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ГЕНЕРАТОРОВ

Параллельная работа шунтовых генераторов

Нагрузка

Параллельное соединение генераторов

Распределение нагрузки между генераторами

$U_0=E_1=E_2$, $U=f(I)$, $U_1=f(I_1)$, $U_2=f(I_2)$, $I=I_1+I_2$

$I_{a1}=\frac{E_1-U}{R_{a1}}$ а $I_{a2}=\frac{E_2-U}{R_{a2}}$ а $I=I_1+I_2$ а

Ток генераторов и ток сети

$E_1>U,\ I_1>0$ $E_2>U,\ I_2>0$

Условие генераторного режима машин

Параллельная работа компаундных генераторов

Уравнительная шина

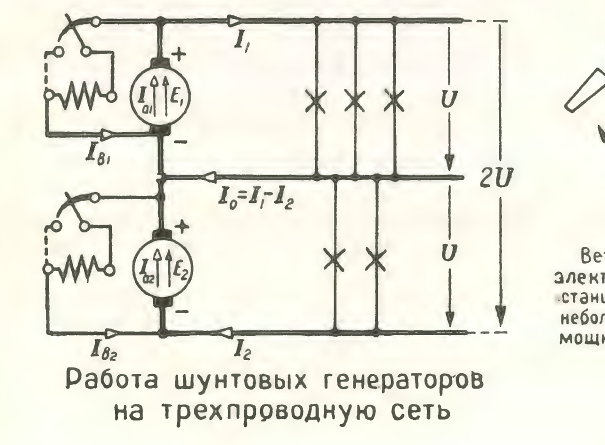
$I=I_1+I_2$

Параллельное соединение генераторов с уравнительным проводом

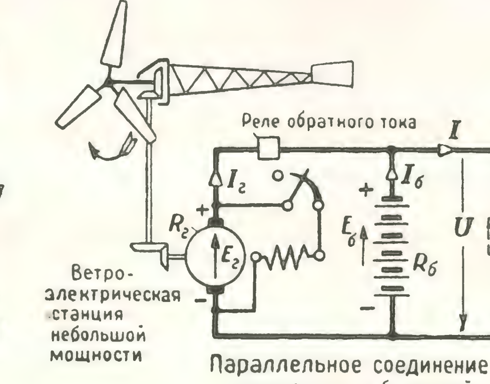
Распределение нагрузки между генераторами

$U=f(I)$, $U_2=f(I_2)$, $U_1=f(I_1)$

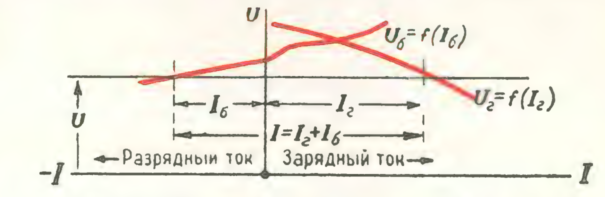
Параллельное соединение генераторов с перекрещенными компаундными обмотками



Работа шунтовых генераторов на трехпроводную сеть



Параллельное соединение генератора с батареей



$I_2=\frac{E_2-U}{R_2}$ а $I_б=\frac{E_б-U}{R_б}$ а $I=I_б+I_2$ а

Ток генератора, батареи и сети

$E_2>(E_б-I_бR_б)$ в

Условие генераторного режима машины

$E_б>(E_2-I_2R_2),\ I_б>0$ $E_б<(E_2-I_2R_2),\ I_б<0$

Условие разряда и заряда батареи

Параллельная работа генератора с аккумуляторной батареей

П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

ДВИГАТЕЛЬ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ
(ШУНТОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ)

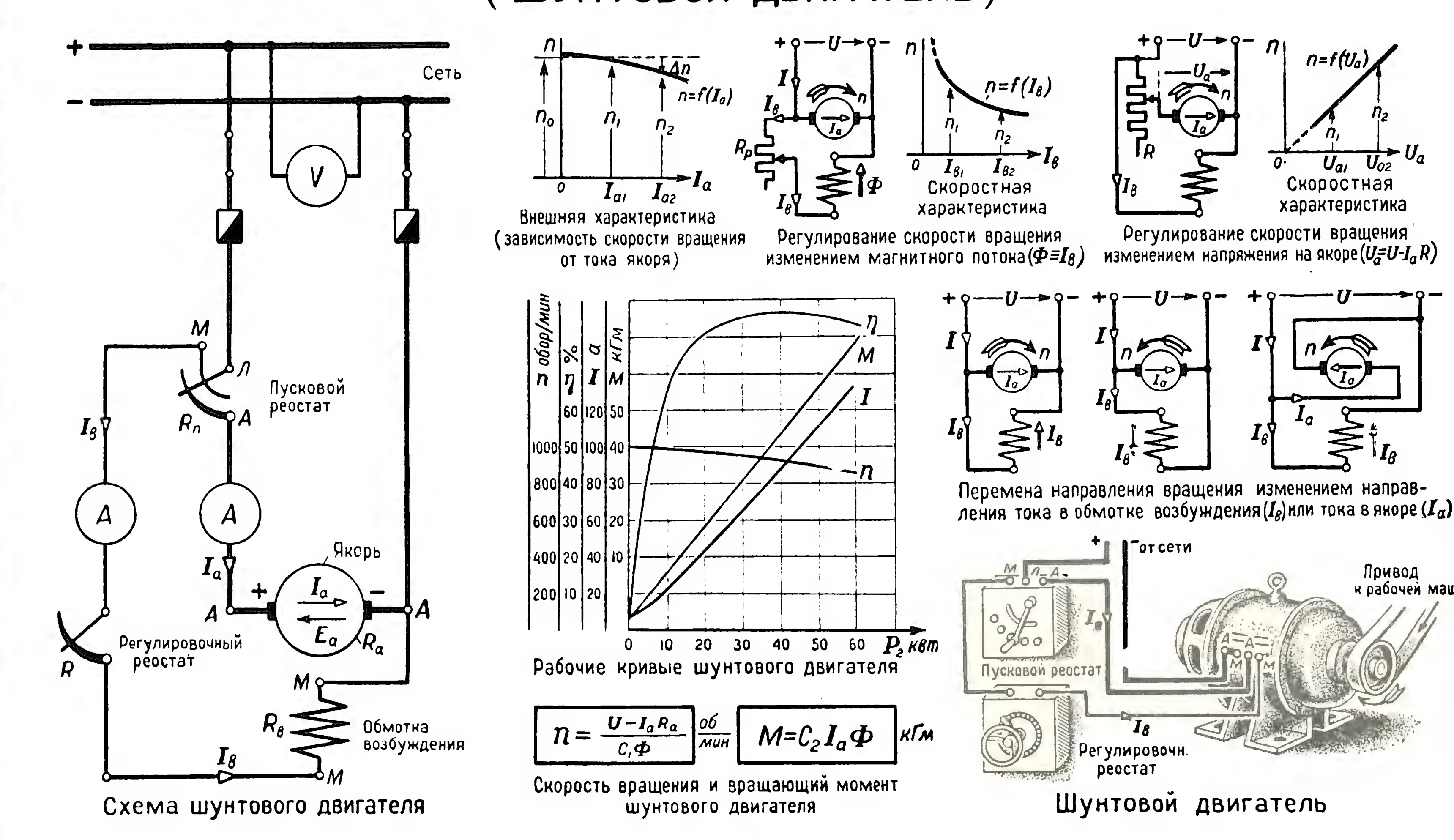


Схема шунтового двигателя

Внешняя характеристика (зависимость скорости вращения от тока якоря)

Регулирование скорости вращения изменением магнитного потока ($\Phi \equiv I_в$)

Регулирование скорости вращения изменением напряжения на якоре ($U_a = U - I_a R$)

Рабочие кривые шунтового двигателя

Перемена направления вращения изменением направления тока в обмотке возбуждения ($I_в$) или тока в якоре (I_a)

$$n = \frac{U - I_a R_a}{C_1 \Phi} \ \frac{об}{мин} \qquad M = C_2 I_a \Phi \ кГм$$

Скорость вращения и вращающий момент шунтового двигателя

Шунтовой двигатель

П.Ф.Скворцов

Худ. А Меньшиков

ДВИГАТЕЛЬ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

(СЕРИЕСНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ)

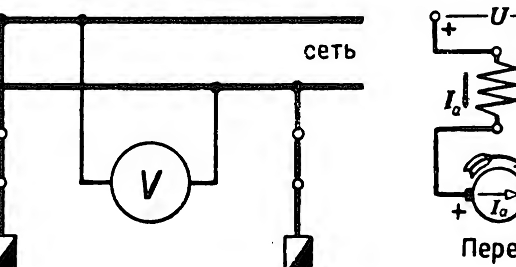
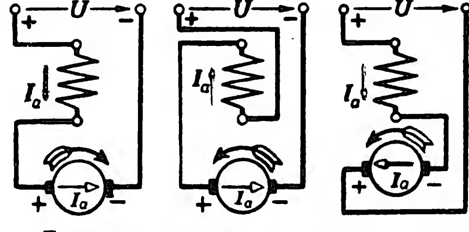


Схема сериесного двигателя



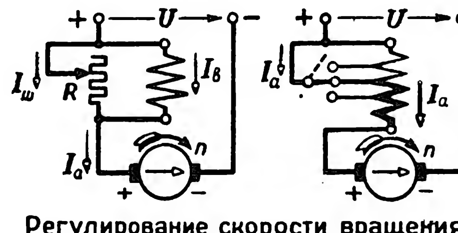
Перемена направления вращения

Рабочие кривые сериесного двигателя

$$n = \frac{U - I_a (R_a + R_в)}{C_1 \Phi}$$

$$M = C_2 I_a^2 \text{ кГм}$$

Скорость вращения и вращающий момент сериесного двигателя



Регулирование скорости вращения изменением магнитного потока

(шунтированием и изменением числа витков обмотки возбуждения)



Регулирование скорости вращения изменением напряжения

(введением реостата и комбинированием включения двигателей)

Тяговый сериесный двигатель

П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

ДВИГАТЕЛЬ СО СМЕШАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

(КОМПАУНДНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ)

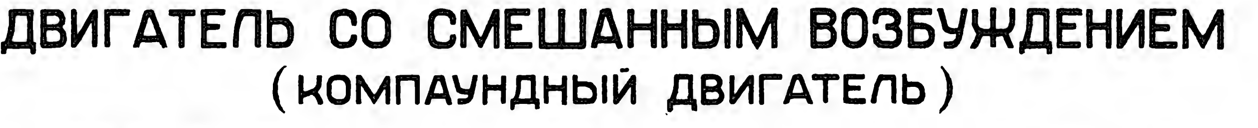


Схема компаундного двигателя

Внешняя характеристика

$$F = I_в w_ш + I_a w_к \quad а \qquad Ф = Ф_ш + Ф_к \quad мкс$$

Намагничивающая сила и магнитный поток полюсов

Компаундное включение

Внешняя характеристика

$$F = I_в w_ш - I_a w_к \quad а \qquad Ф = Ф_ш - Ф_к \quad мкс$$

Намагничивающая сила и магнитный поток полюсов

Противокомпаундное включение

Рабочие кривые компаундного двигателя

$$n = \frac{U - I_a(R_a + R_к)}{C_1(Ф_ш \pm Ф_к)} \ \frac{об}{мин} \qquad M = C_2 I_a (Ф_ш \pm Ф_к) \ кГм$$

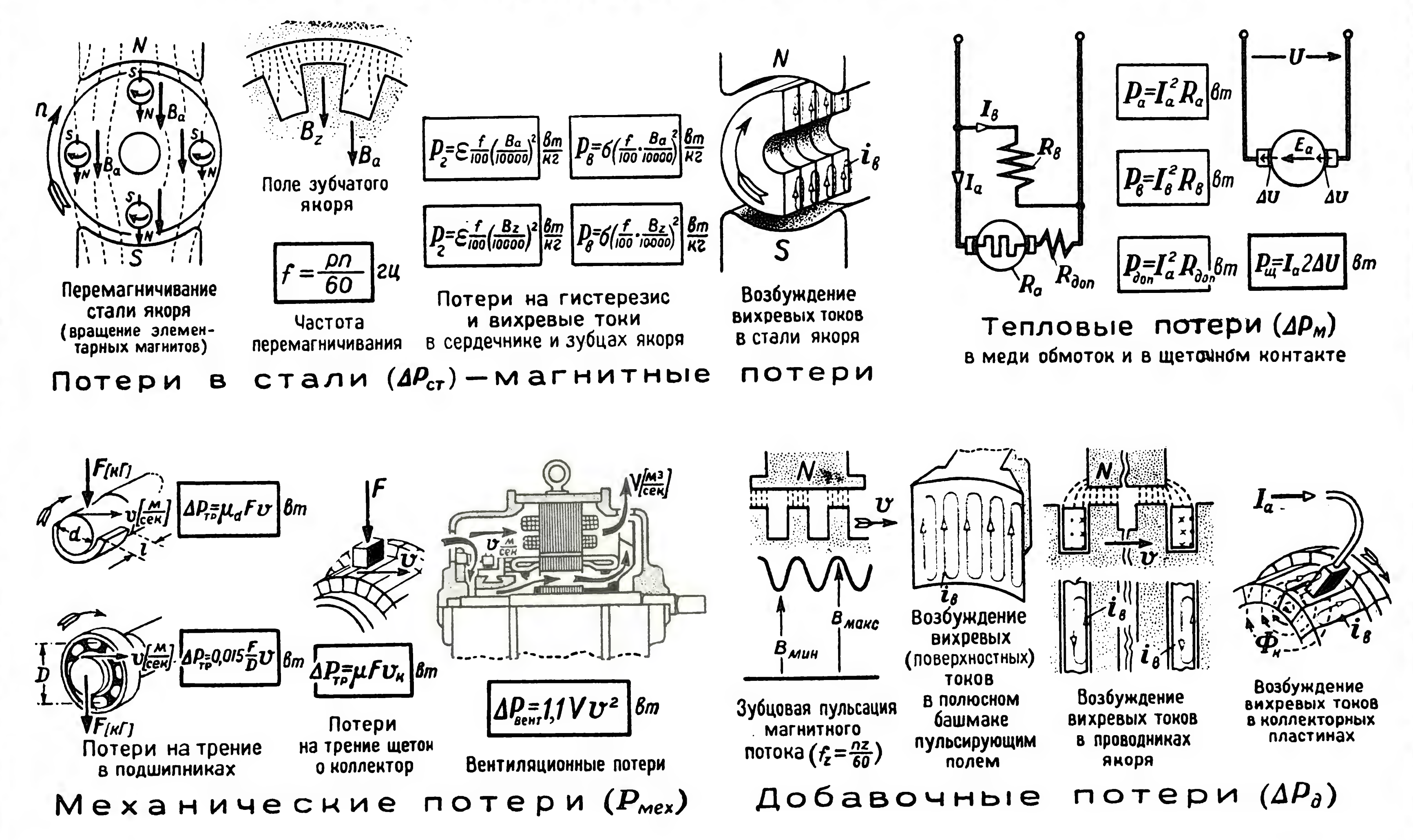
Скорость вращения и вращающий момент компаундного двигателя

Компаундный двигатель

П.Ф. Скворцов

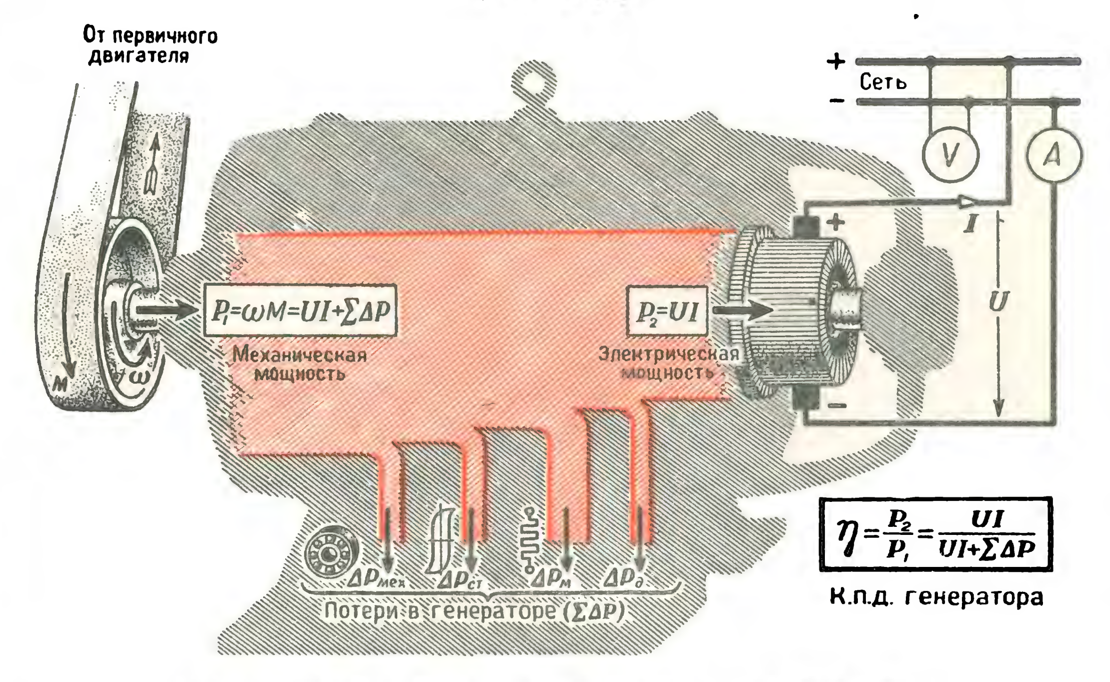
Худ. А. Меньшиков

ПОТЕРИ В МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

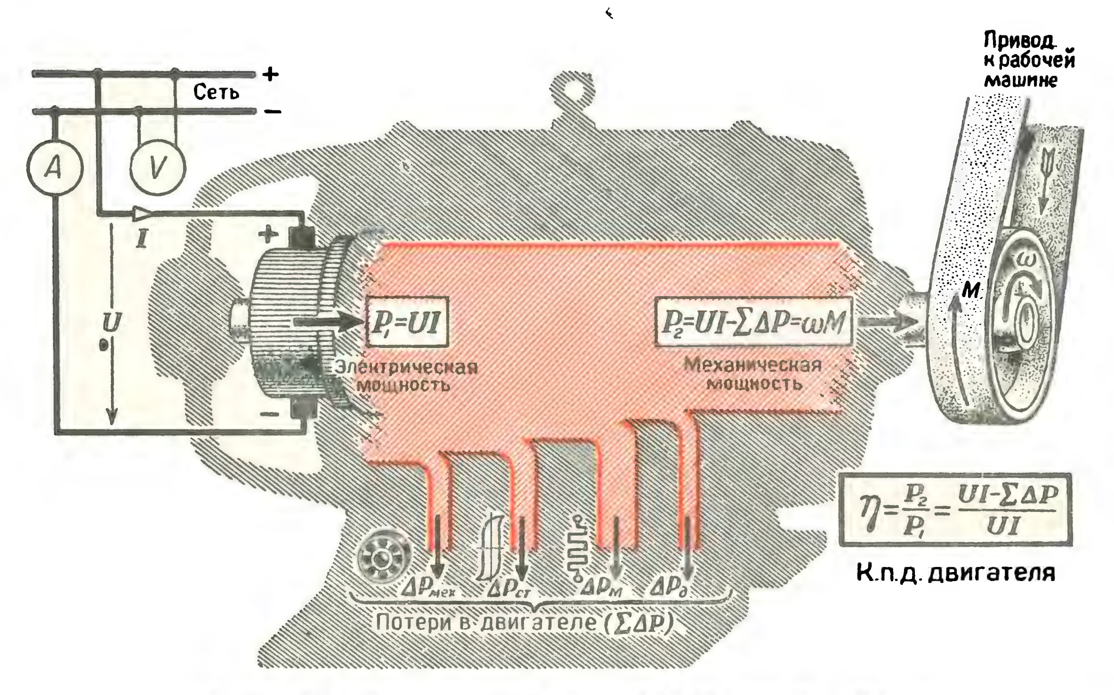


Худ. А.Меньшиков

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (К.П.Д.)



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА ГЕНЕРАТОРА

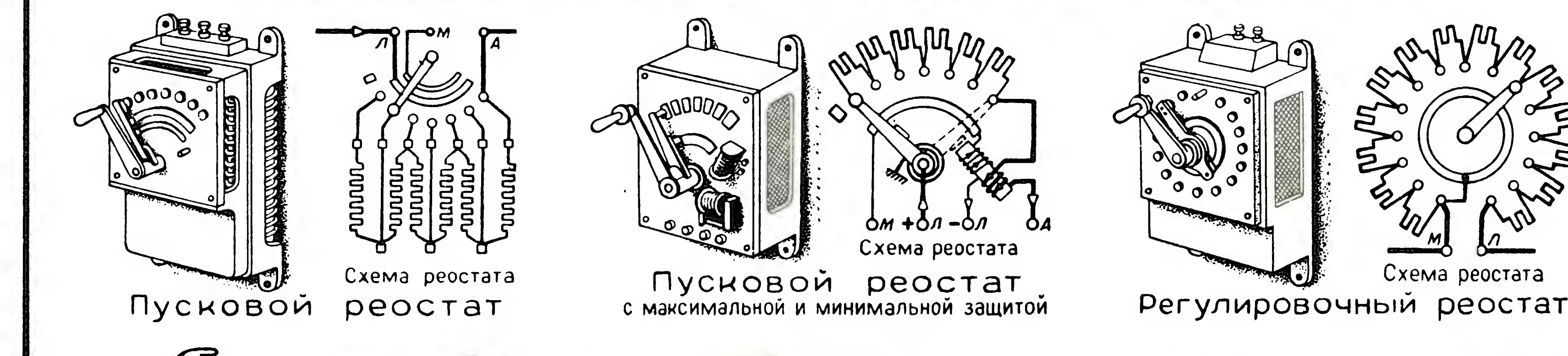


ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА ДВИГАТЕЛЯ

П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

ПУСКОВЫЕ И РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ РЕОСТАТЫ



Пусковой реостат

Пусковой реостат с максимальной и минимальной защитой

Регулировочный реостат

Проволочные сопротивления

Чугунные сопротивления

Ленточные сопротивления

Элементы сопротивлений

Реостат со скользящим контактом (ползушкой)

Жидкостный реостат

Реостаты с плавным изменением сопротивления

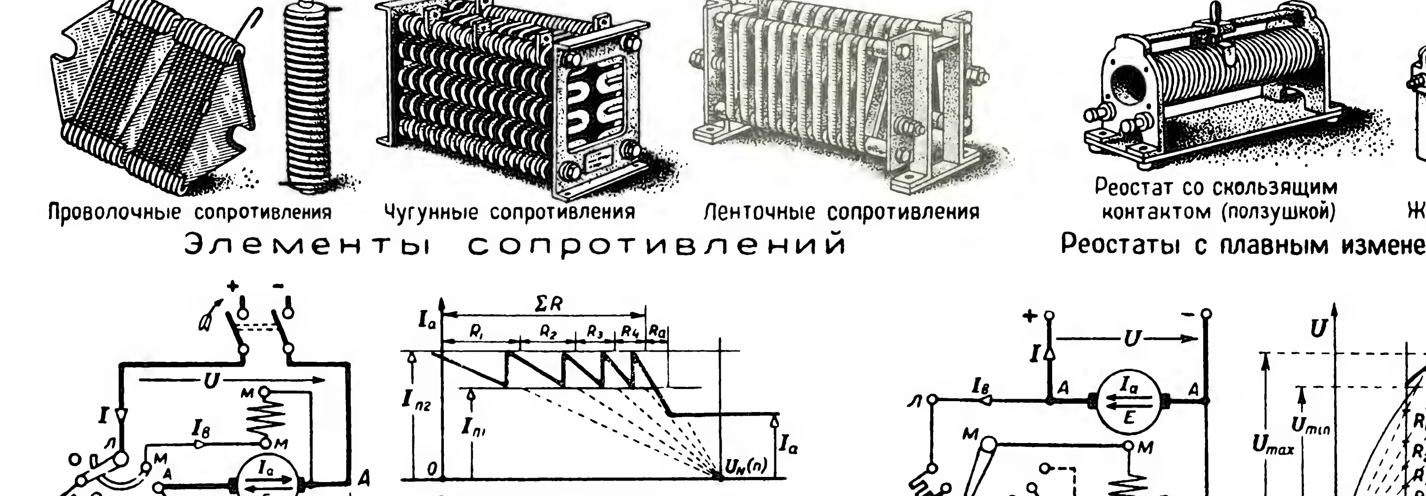


Схема включения пускового реостата в цепь двигателя

Диаграмма пускового тока

$$\Sigma R = \frac{U}{I_{2п}} - R_a$$

Сопротивление пускового реостата

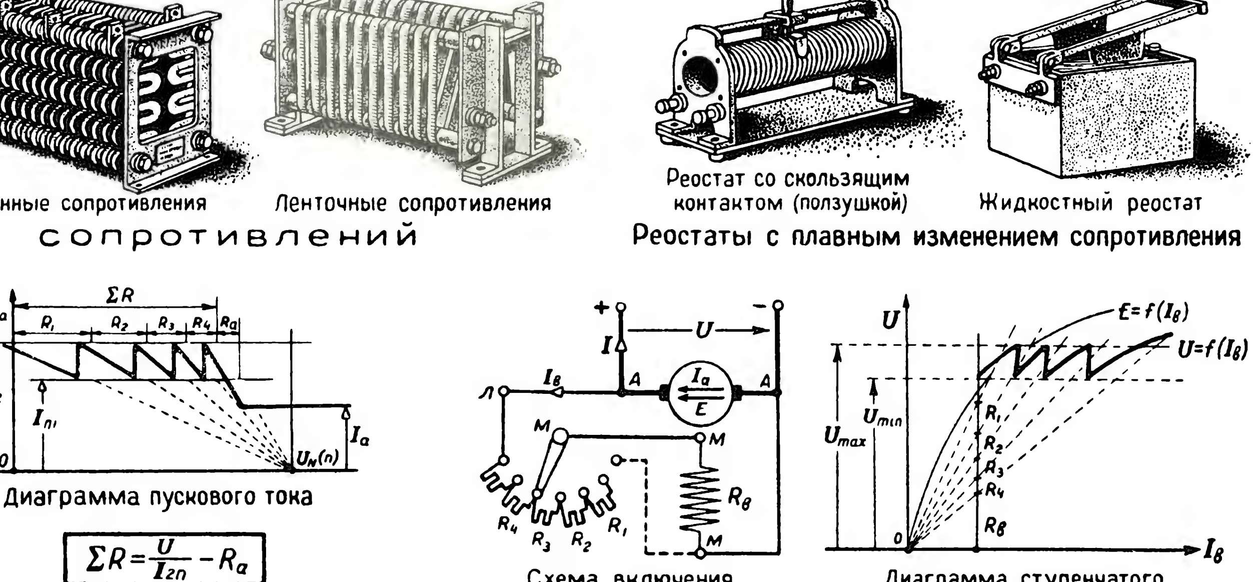


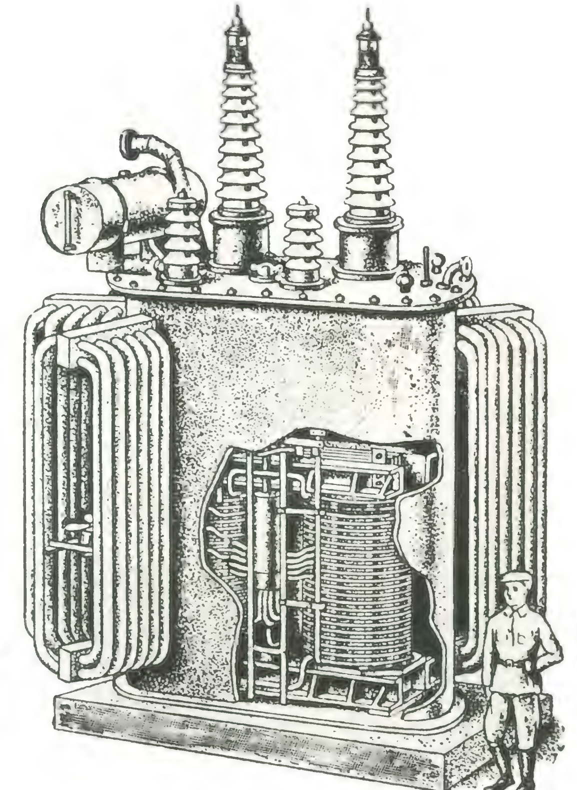
Схема включения регулировочного реостата в цепь генератора

Диаграмма ступенчатого регулирования напряжения

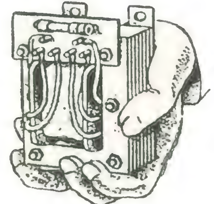
П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

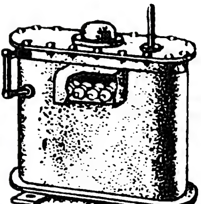
ТРАНСФОРМАТОРЫ



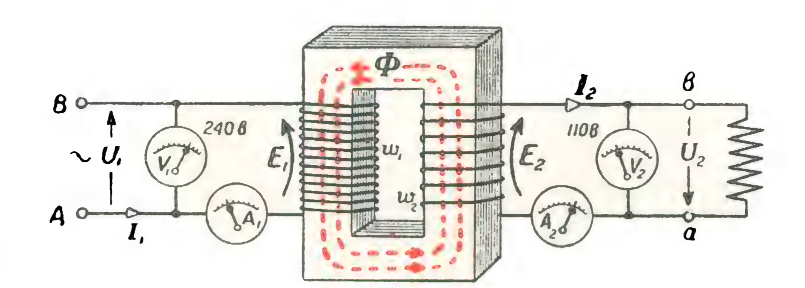
Однофазный трансформатор ОДГ на 110 *кв* мощностью 20000 *ква*



Радио-трансформатор мощностью 75 *ва*



Трехфазный трансформатор мощностью 20 *ква*



$$K_{12} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}}$$

Коэффициент трансформации

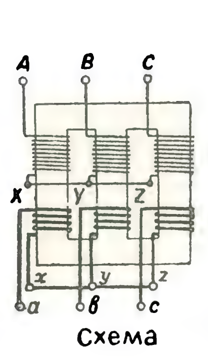
Трансформатор — аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения.

Трансформатор изобретен П.Н.Яблочковым в 1876 г. и независимо от него И.Ф.Усагиным в 1882 г

И.А.Васильева

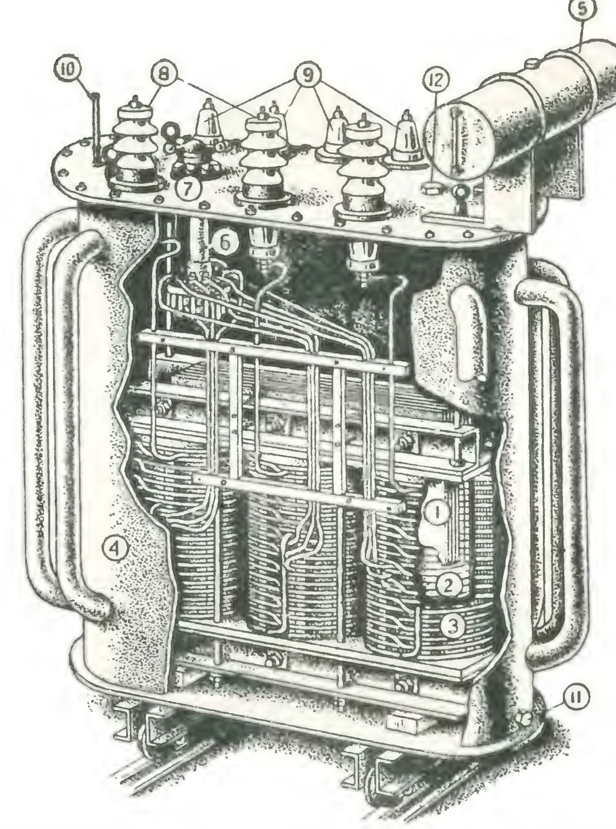
Худ. А.Меньшиков

ТРЕХФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ



Схема

1 - магнитопровод
2 - обмотка низшего напряжения (двухслойная цилиндрическая)
3 - обмотка высшего напряжения (непрерывная)
4 - бак для масла
5 - расширитель



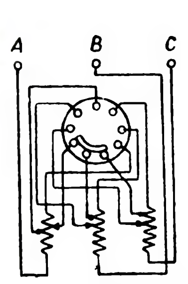
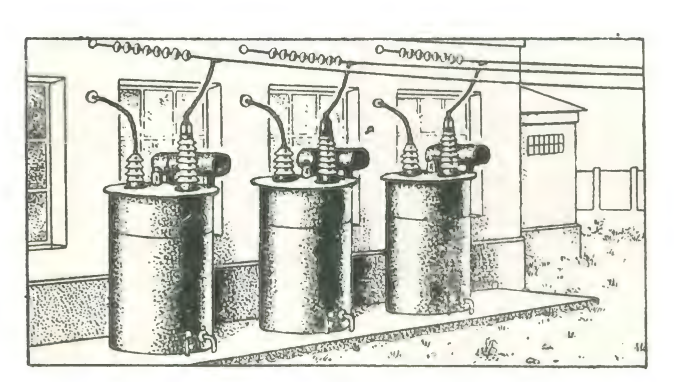


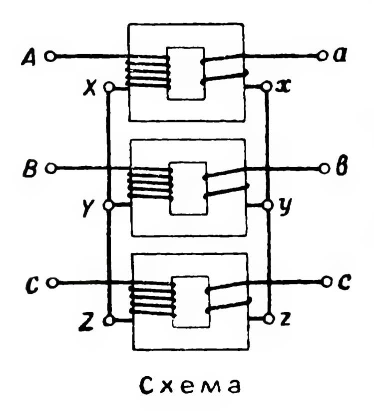
Схема переключения обмотки ВН на ±5%

6 переключатель числа витков обмотки ВН
7 привод переключателя
8 ввод ВН
9 - ввод НН
10 - термометр
11 - пробка для спуска масла
12 пробка для залива масла

Трехфазный трансформатор ТМ-320/6 мощностью 320 ква на напряжение 6000 ±5%/400 в



Группа трех понизительных однофазных трансформаторов



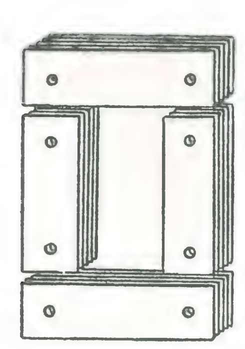
Схема

Трехфазный трансформатор изобретен М.И.Доливо-Добровольским в 1889 г.

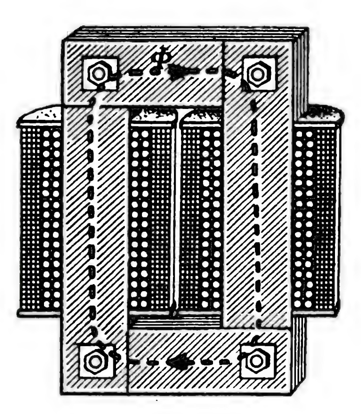
И А Васильева

Худ. А.Меньшиков

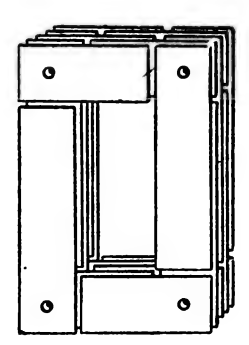
МАГНИТОПРОВОДЫ



Стыковая сборка магнитопровода



Магнитопровод однофазного трансформатора стержневого типа



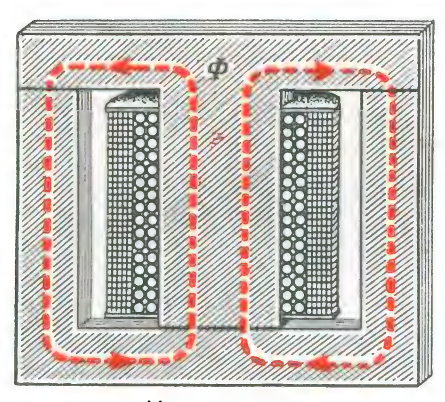
Шихтованная сборка магнитопровода







Формы сечения стержней



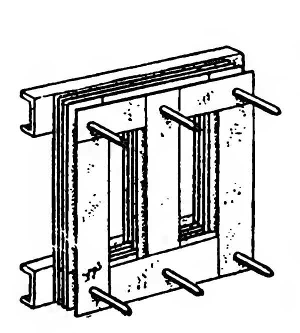
Магнитопровод однофазного трансформатора броневого типа



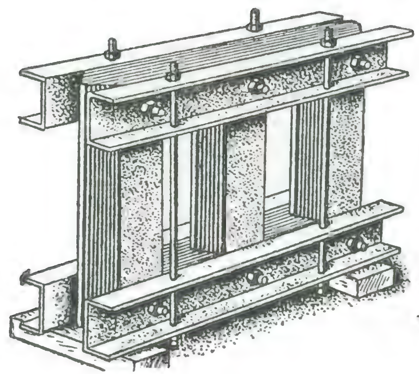




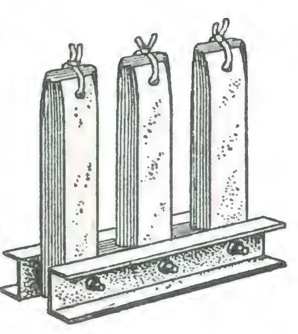
Формы сечения ярма



Магнитопровод в процессе сборки



Магнитопровод трехфазного трансформатора мощностью 100 *ква*

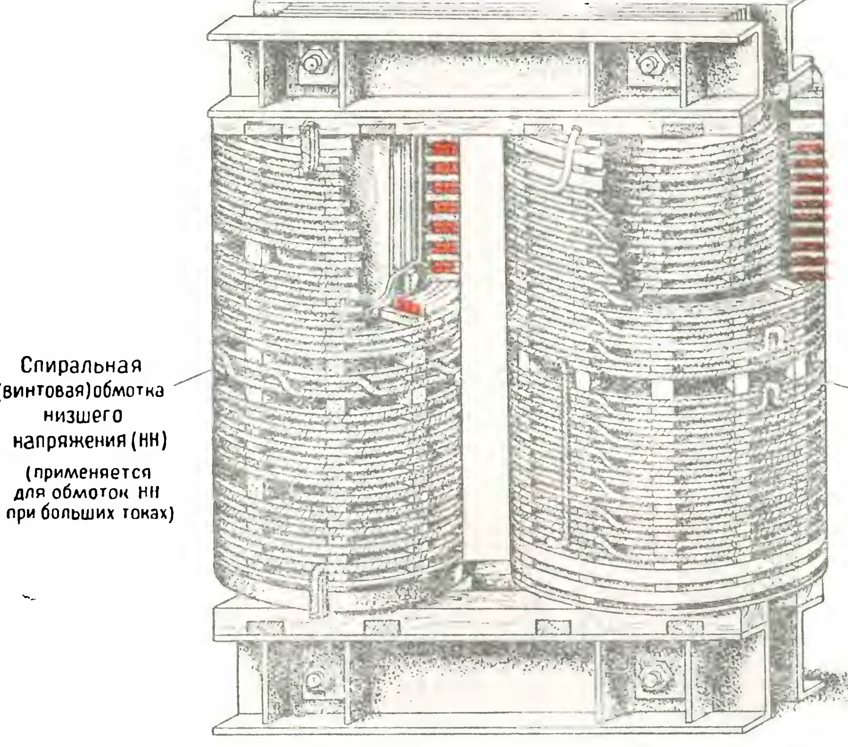


Магнитопровод с расшихтованным верхним ярмом для насадки обмоток

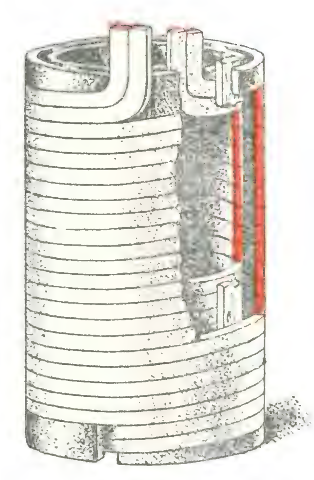
И.А.Васильева

Худ А.Меньшиков

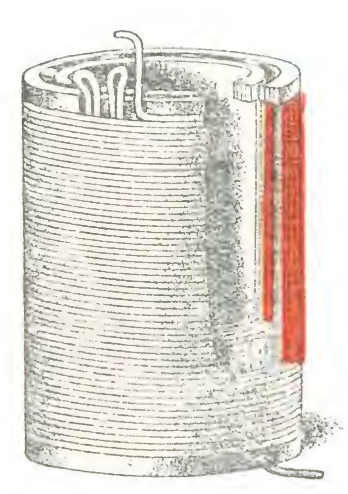
ОБМОТКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ



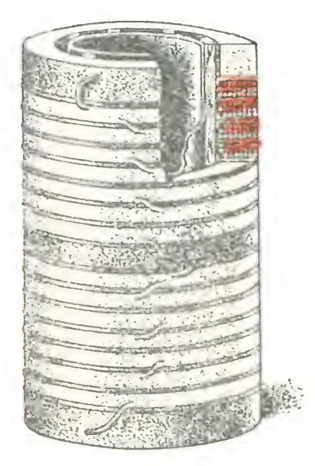
Расположение обмоток на сердечнике трансформатора



Цилиндрическая двухслойная обмотка
(применяется для обмоток НН)



Цилиндрическая многослойная обмотка
(применяется для обмоток НН и ВН)

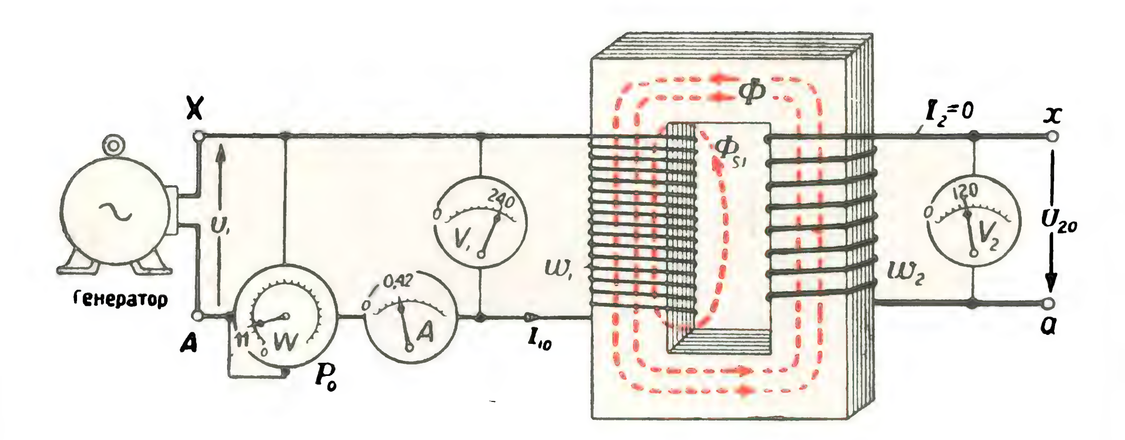


Катушечная многослойная обмотка
(применяется для обмоток НН)

И А Васильева

Худ А Меньшиков

ХОЛОСТОЙ ХОД ТРАНСФОРМАТОРА



Опыт холостого хода

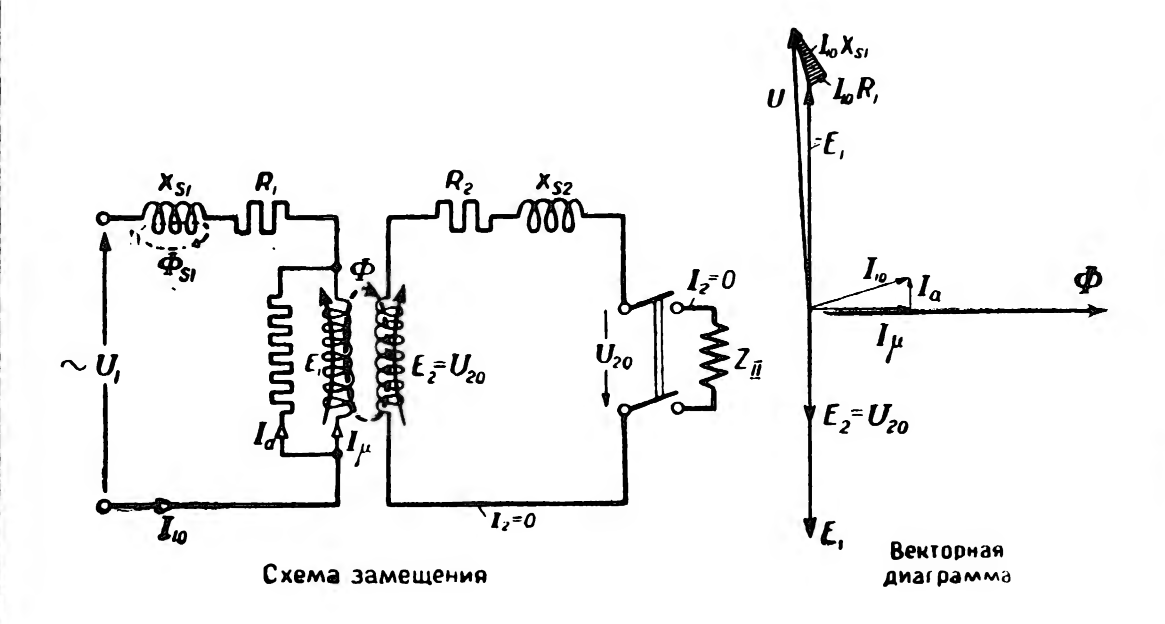


Схема замещения

Векторная диаграмма

$$K_{12}=\frac{w_1}{w_2}=\frac{E_1}{E_2}\approx\frac{U_1}{U_{20}}$$

Коэффициент трансформации

$$P_0 \approx P_{ст} \quad вт$$

Мощность, подводимая при холостом ходе идет на покрытие потерь в стали

М Д Каминский и И А Васильева

Худ А.Меньшиков

НАГРУЗКА ТРАНСФОРМАТОРА

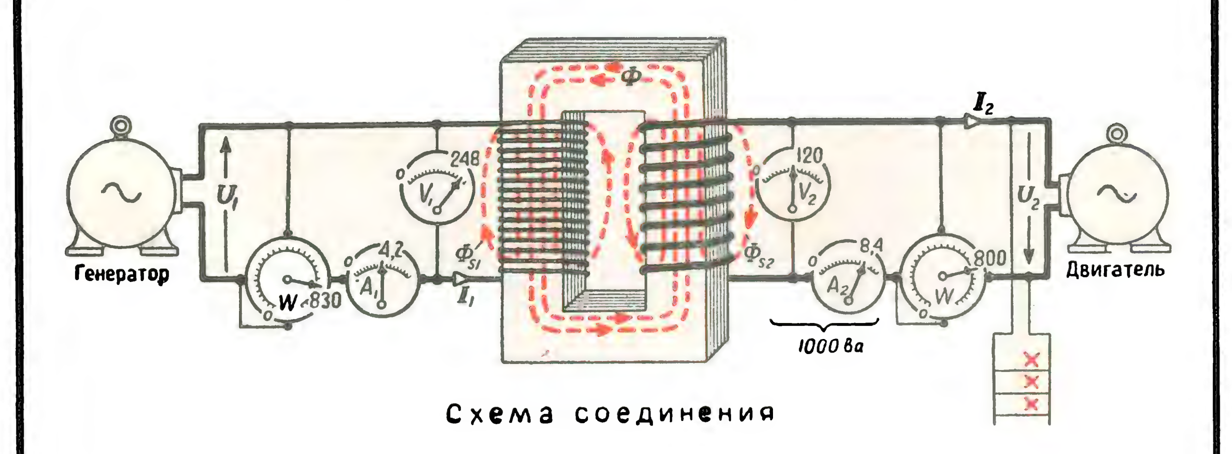
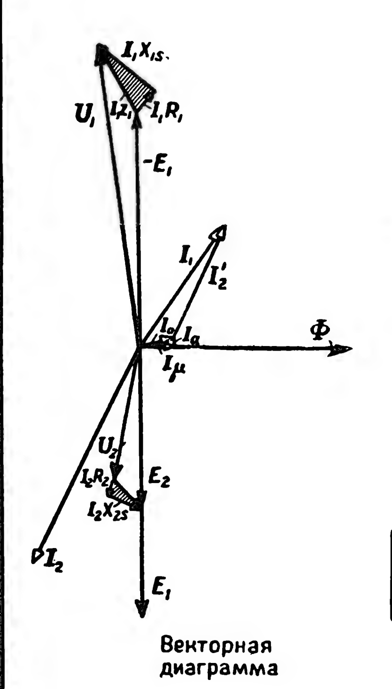
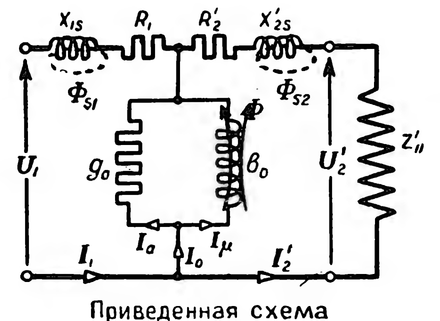


Схема соединения



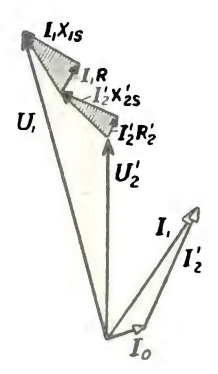
Векторная диаграмма



Приведенная схема замещения

$$U_2' = -U_2 \frac{w_1}{w_2}\ ;\ I_2' = -I_2 \frac{w_2}{w_1}\ ;$$
$$R_2' = R_2 \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2;\ X_{2s}' = X_{2s} \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2;\ Z_{\text{н}}' = Z_{\text{н}} \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2$$

Приведенные вторичные напряжение, ток и сопротивления



Приведенная векторная диаграмма

$$\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2 = \dot{I}_0 w_1 \quad a$$

При нагрузке трансформатора магнитный поток и суммарные ампервитки остаются практически неизменными и равными их значениям при холостом ходе

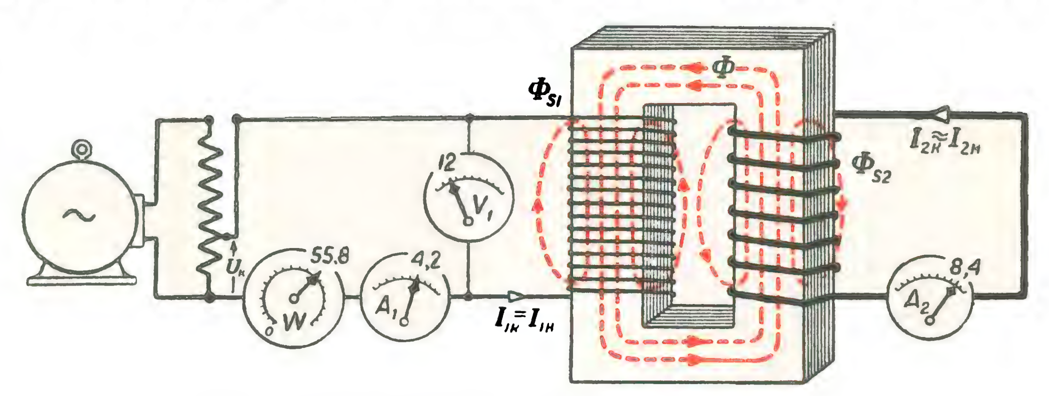
$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 \frac{w_2}{w_1} = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad a$$

Размагничивающее действие тока I_2 компенсируется дополнительным током I_2' в первичной цепи

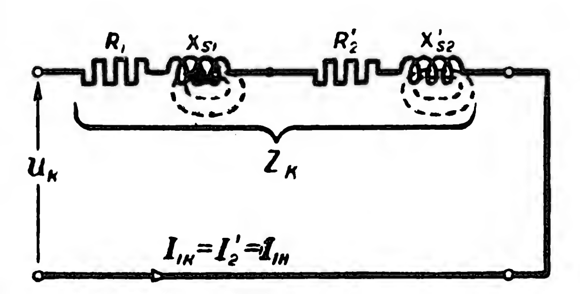
М.Д. Каминский и И.А. Васильева

Худ. А. Меньшиков

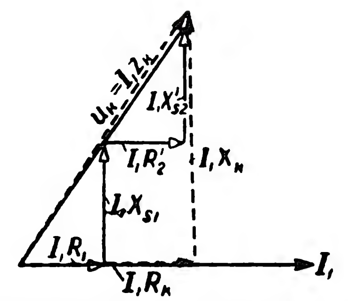
КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА



Опыт короткого замыкания



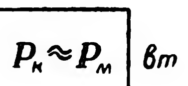
Упрощенная схема замещения



Треугольник короткого замыкания

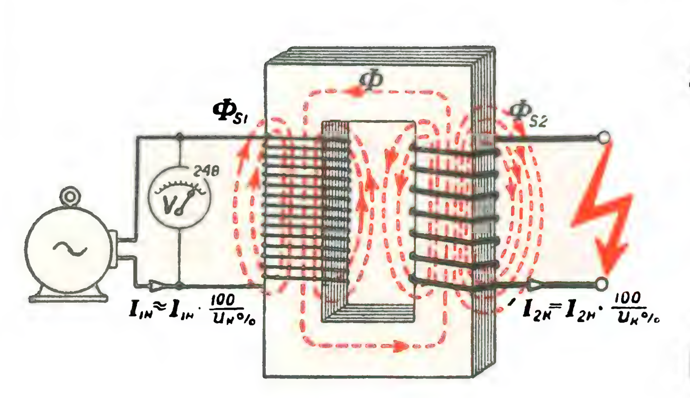
$$u_к\,\% = \frac{u_к}{U_{1н}}\,100\ \%$$

Напряжение короткого замыкания трансформатора в процентах

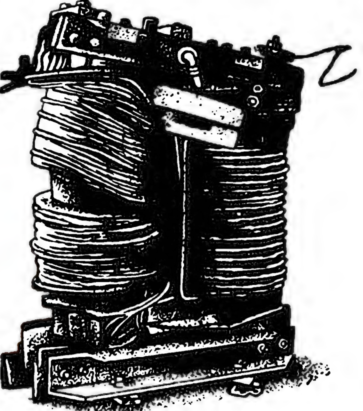


$$P_к \approx P_м \ \text{вт}$$

Мощность, подводимая при опыте короткого замыкания идет на покрытие потерь в меди



Короткое замыкание на вторичных зажимах трансформатора (аварийный режим)



Разрушение обмотки при коротком замыкании

М. Д. Каминский и И. А. Васильева

Худ А Мельников

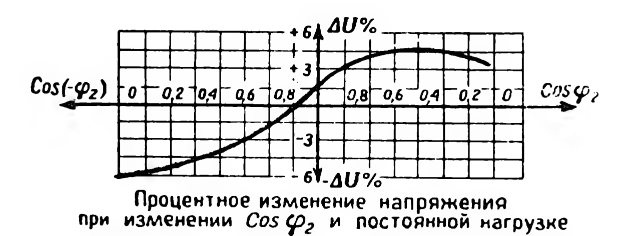
ПОТЕРЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ТРАНСФОРМАТОРЕ

Изменение напряжения на зажимах трансформатора при различном характере нагрузки

$\varphi_2 = 0$ $\varphi_2 > 0$ $\varphi_2 < 0$

Внешние характеристики

Векторные диаграммы



Процентное изменение напряжения при изменении $\cos\varphi_2$ и постоянной нагрузке

$$\Delta U\% = \frac{U_{2н} - U_2}{U_{2н}} \cdot 100$$

Процентное изменение вторичного напряжения

Изменение напряжения на вторичных зажимах трансформатора зависит от величины и характера нагрузки

М Д Каминский и И А Васильева

Худ. А.Меньшиков

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Φ

X $\quad I_2 \quad x$

$P_1 \quad P_2$

A $\quad I_1 \quad a$

$P_{ст} = P_o$

Энергетическая диаграмма трансформатора

$I_1^2 R_1 \qquad P_г \quad P_в \qquad I_2^2 R_2$

w_1 $\qquad w_2$

$I_1^2 R_1 \approx \frac{P_м}{2} = \frac{P_к}{2}$ вт $\qquad P_в \equiv d^2 B^2 f^2$ вт $\qquad I_2^2 R_2 \approx \frac{P_м}{2} = \frac{P_к}{2}$ вт

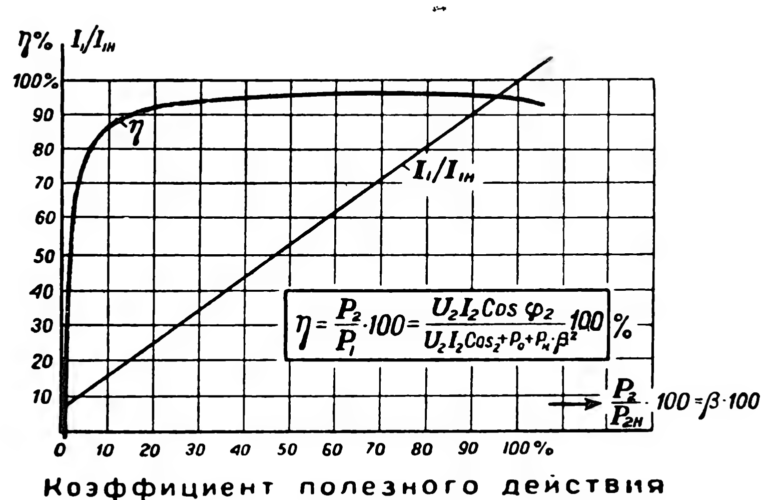
$\Phi \quad i_в \quad i_в \quad W \quad W$

$P_г \equiv W_г f \equiv B^2 f$ вт

Потери в меди первичной обмотки

Потери в стали на гистерезис и на вихревые токи

Потери в меди вторичной обмотки

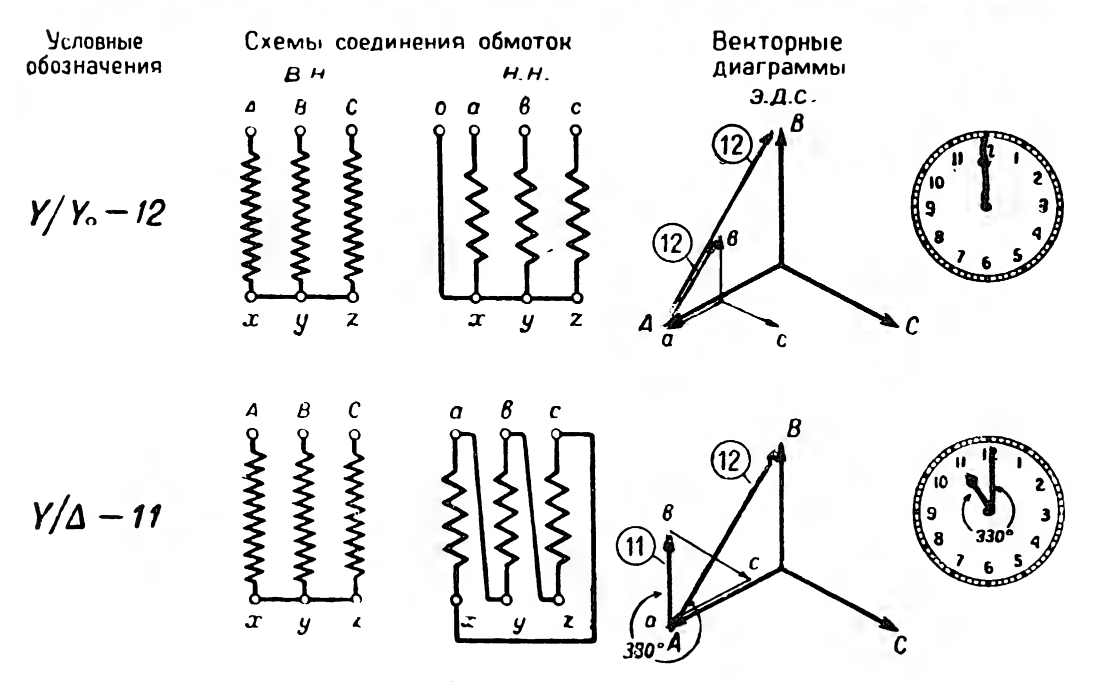


Коэффициент полезного действия

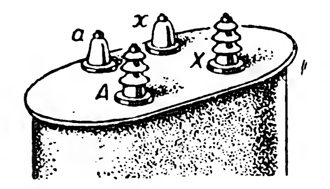
М.Д Каминский и И.А Васильева

Худ А Меньшиков

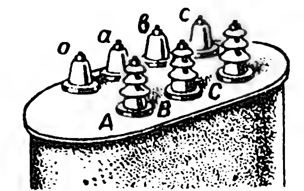
ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ



Группы соединения обмоток трехфазных трансформаторов, применяемые в советском трансформаторостроении

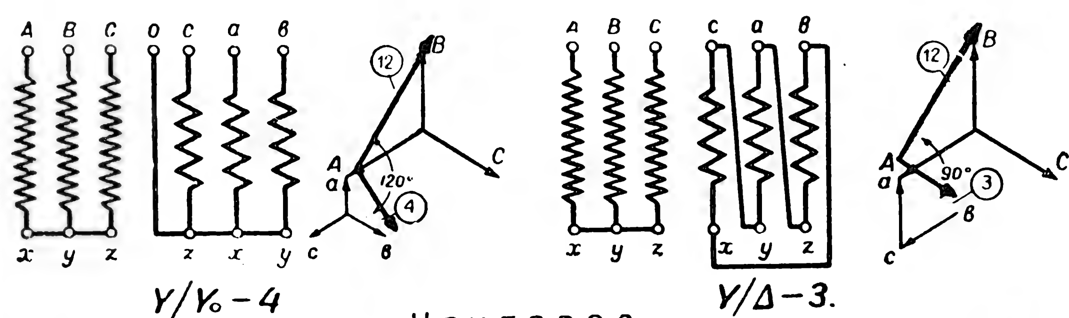


Однофазный трансформатор



Трехфазный трансформатор

Расположение выводов на крышке трансформаторов

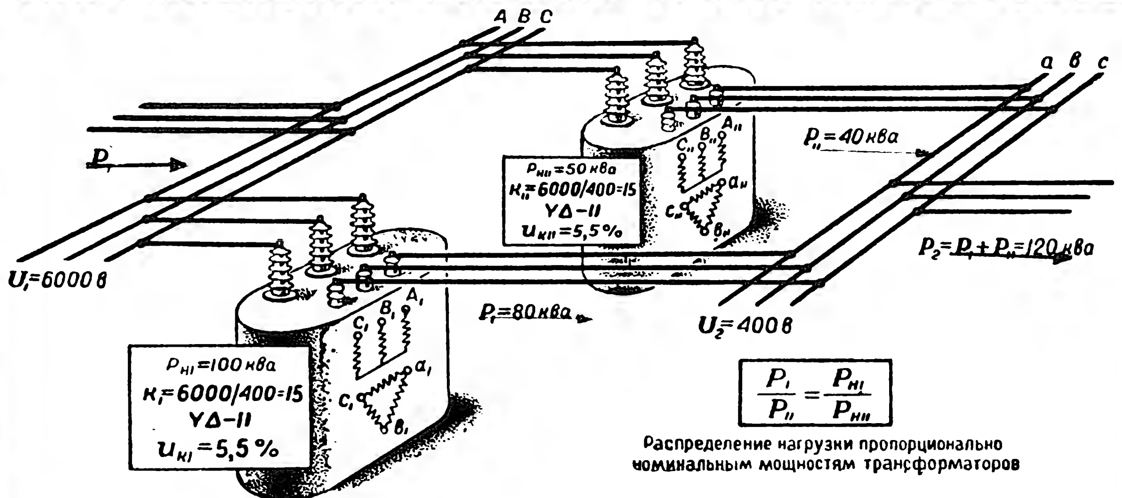


Круговое перемещение обозначений концов одной из обмоток приводит к изменению угла сдвига междуфазовых э.д.с., а следовательно, и групп соединения

М.Д.Каминский и И.А.Васильева

Худ. А.Меньшиков

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРОВ



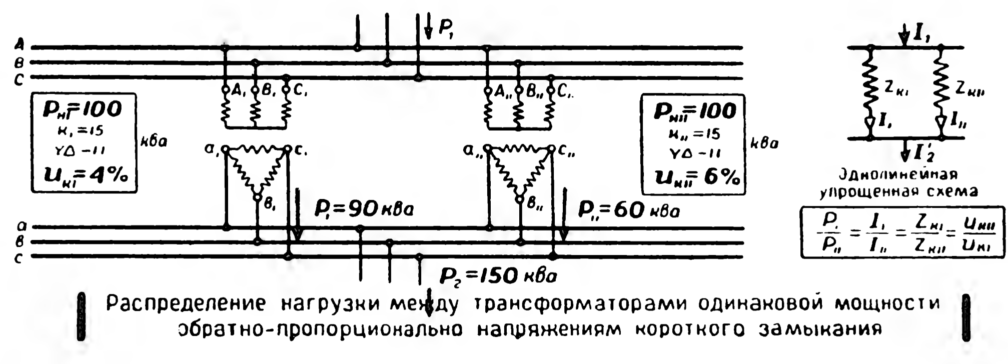
$$\frac{P_I}{P_{II}} = \frac{P_{нI}}{P_{нII}}$$

Распределение нагрузки пропорционально номинальным мощностям трансформаторов

Параллельная работа трансформаторов с различной номинальной мощностью

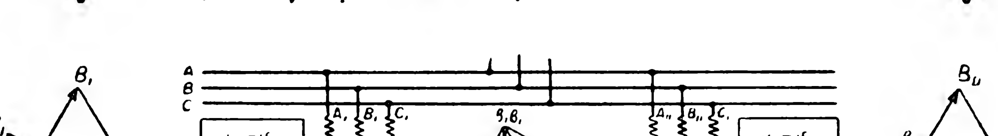
Условия параллельной работы трансформаторов:

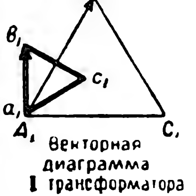
1 — Равенство коэффициентов трансформации ($к_I = к_{II}$);
2 — Равенство напряжений короткого замыкания ($u_{кI} = u_{кII}$);
3 — Совпадение групп соединения обмоток.

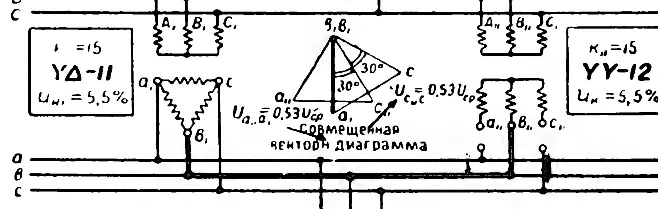


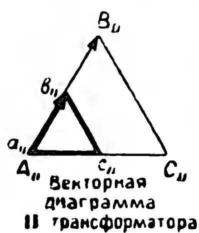
$$\frac{P_I}{P_{II}} = \frac{I_I}{I_{II}} = \frac{Z_{кI}}{Z_{кII}} = \frac{u_{кII}}{u_{кI}}$$

Распределение нагрузки между трансформаторами одинаковой мощности обратно-пропорционально напряжениям короткого замыкания









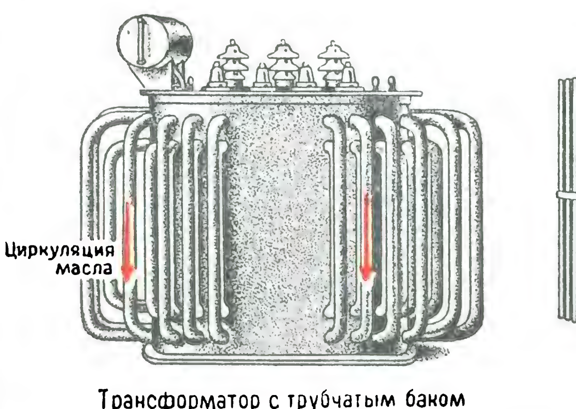
Смещение треугольников вторичных напряжений двух трансформаторов различных групп соединений

При параллельном включении трехфазных трансформаторов с различными группами соединения обмоток возникают опасные уравнительные токи

И.А.Васильева

Худ. А.Меньшиков

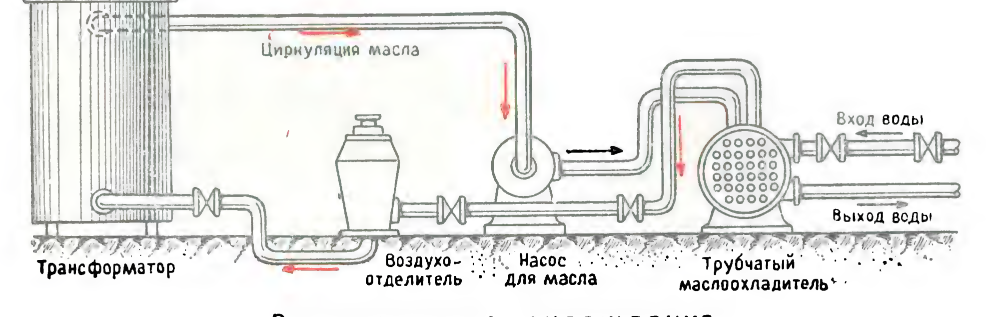
ОХЛАЖДЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ



Трансформатор с трубчатым баком

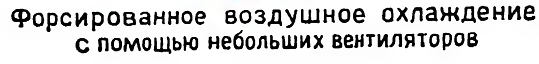
Трансформатор с радиаторным баком

Трансформаторы с естественным масляным охлаждением



Водомасляное охлаждение

(Принципиальная схема установки с принудительной циркуляцией масла)

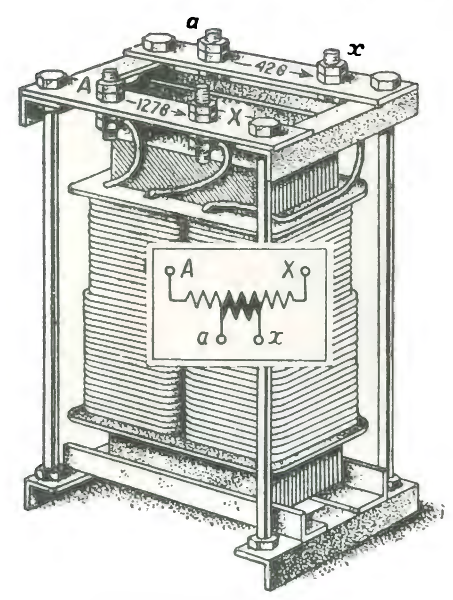


Форсированное воздушное охлаждение с помощью небольших вентиляторов

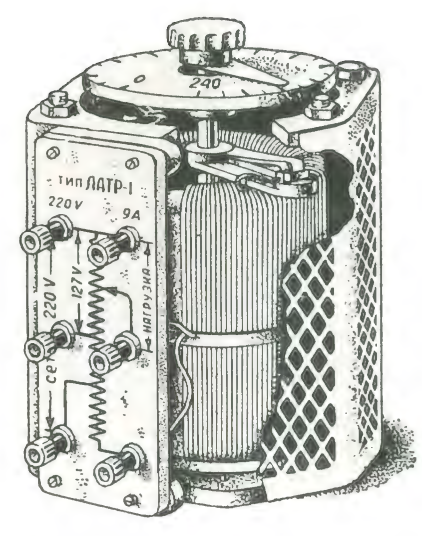
И.А. Васильева

Худ. А. Меньшиков

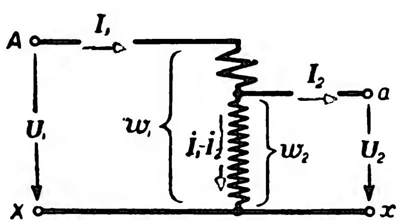
АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ



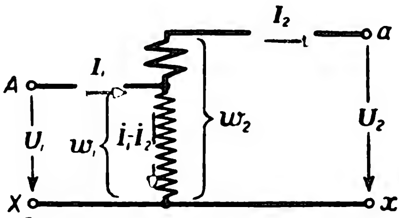
Автотрансформатор напряжением 127/42 в



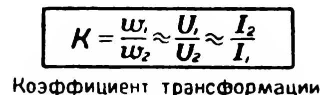
Лабораторный автотрансформатор регулировочный (тип „ЛАТР-1")



Принципиальная схема однофазного понизительного автотрансформатора



Принципиальная схема однофазного, повысительного автотрансформатора



$$K = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Коэффициент трансформации

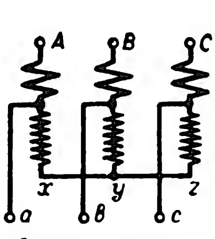
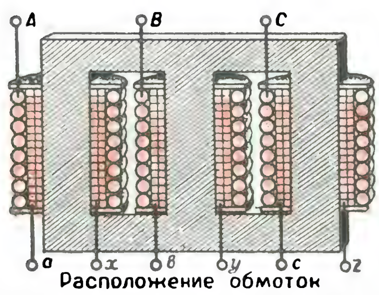
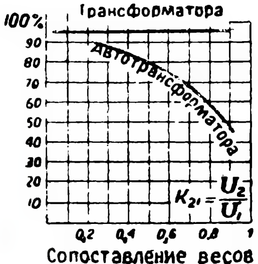


Схема соединения трехфазного автотрансформатора звездой



Расположение обмоток в трехфазном автотрансформаторе



Сопоставление весов активных материалов понизительного трансформатора и автотрансформатора той же мощности

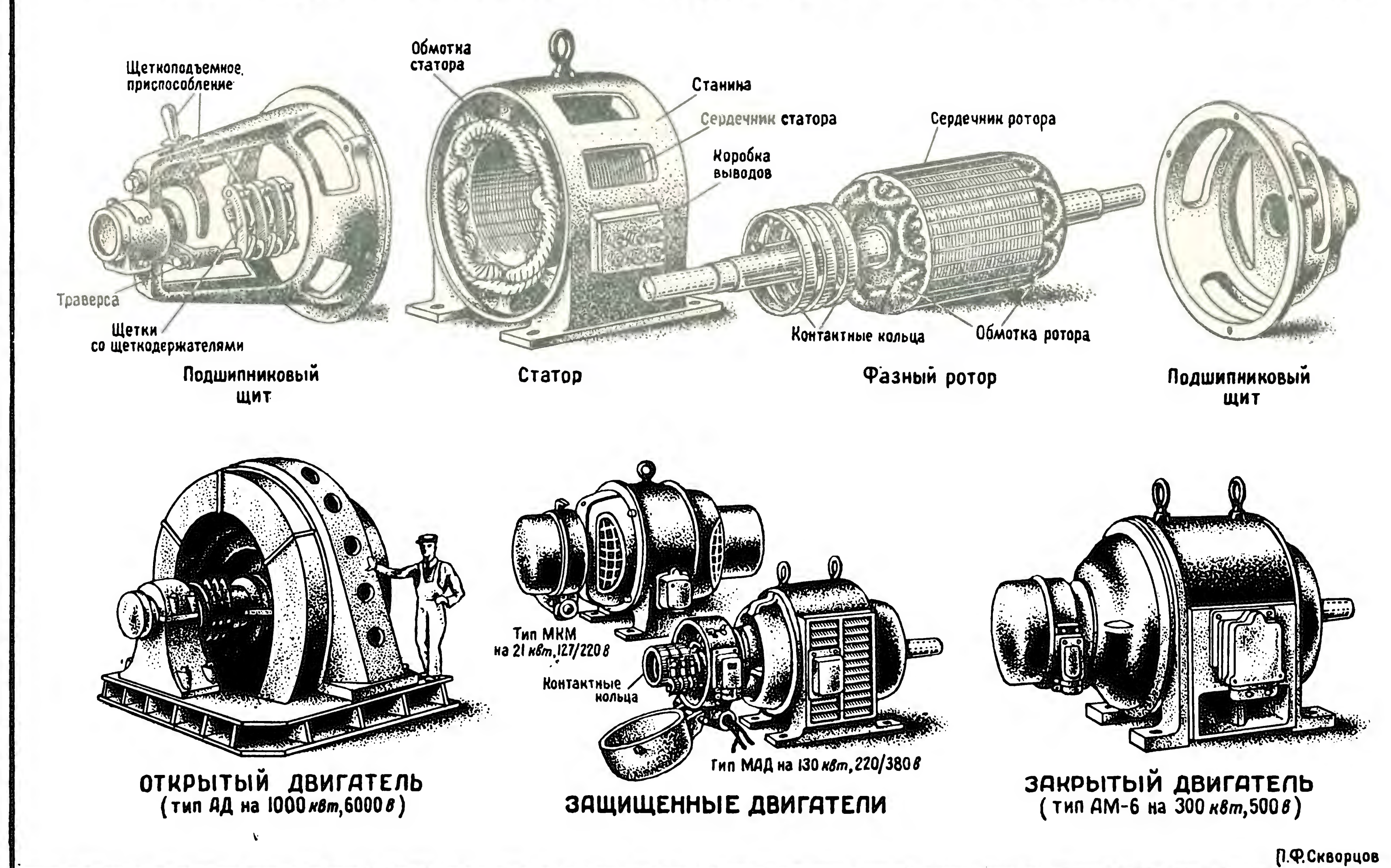
Автотрансформаторы применяются для понижения напряжения в низковольтных сетях

Автотрансформатор изобретен Доливо-Добровольским в 1892 г.

И А Васильева

Худ Д Маньшин(?)

АСИНХРОННЫЙ ТРЕХФАЗНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ



ОТКРЫТЫЙ ДВИГАТЕЛЬ (тип АД на 1000 *квт*, 6000 *в*)

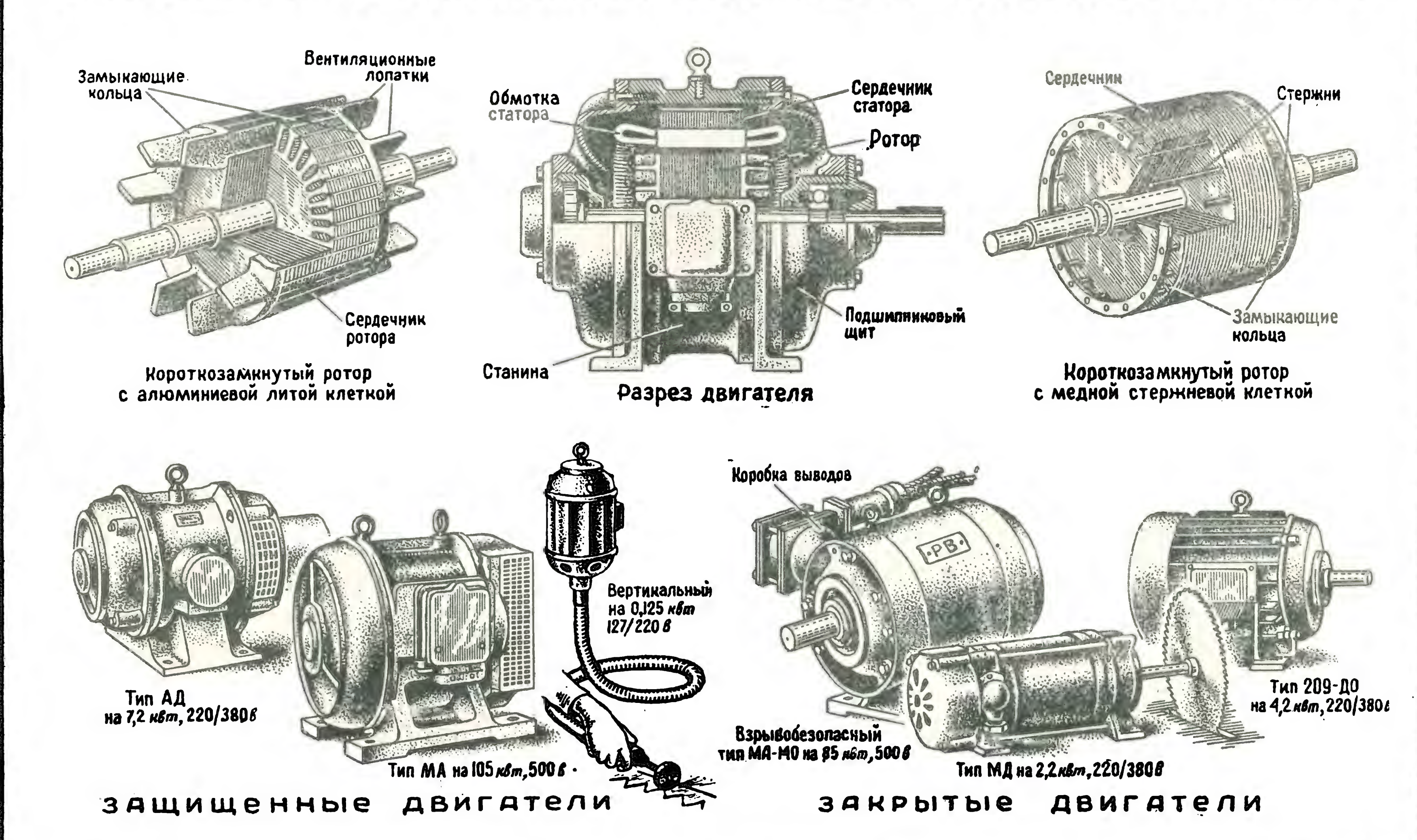
ЗАЩИЩЕННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

ЗАКРЫТЫЙ ДВИГАТЕЛЬ (тип АМ-6 на 300 *квт*, 500 *в*)

П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

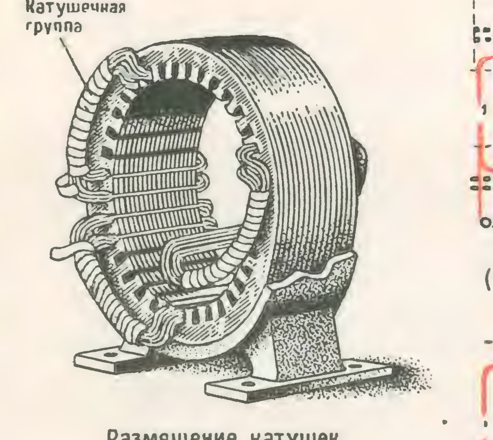
АСИНХРОННЫЙ ТРЕХФАЗНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ



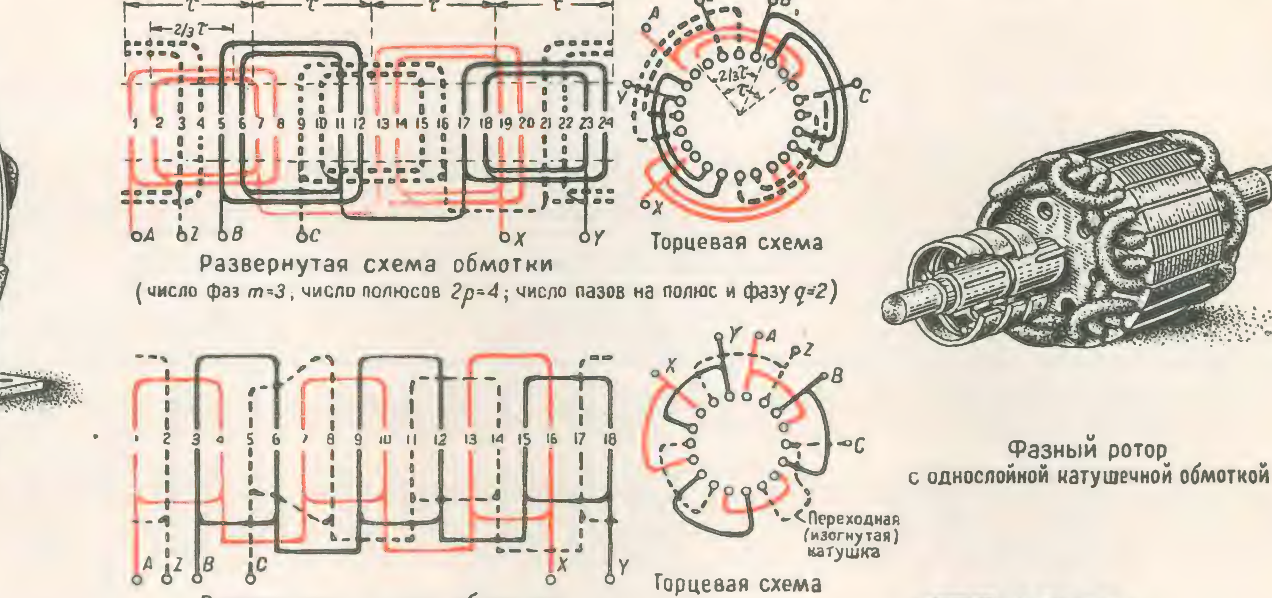
П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков.

ОДНОСЛОЙНАЯ ОБМОТКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ



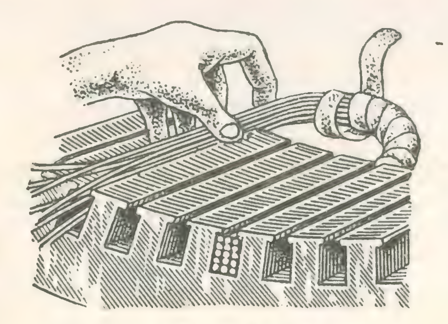
Размещение катушек в пазах статора



Развернутая схема обмотки
(число фаз $m=3$; число полюсов $2p=4$; число пазов на полюс и фазу $q=2$)

Развернутая схема обмотки
при нечетном числе пар полюсов ($m=3$; $2p=6$; $q=1$)

Фазный ротор с однослойной катушечной обмоткой

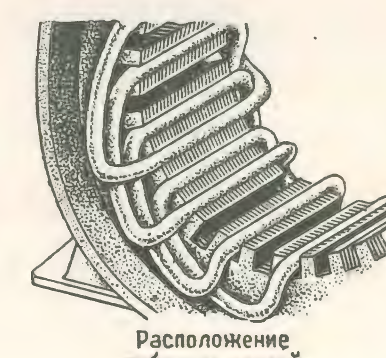


Укладка мягкой катушки однослойной обмотки



Развернутая схема равнокатушечной обмотки
($m=3$; $2p=4$; $q=2$)

Торцевая схема

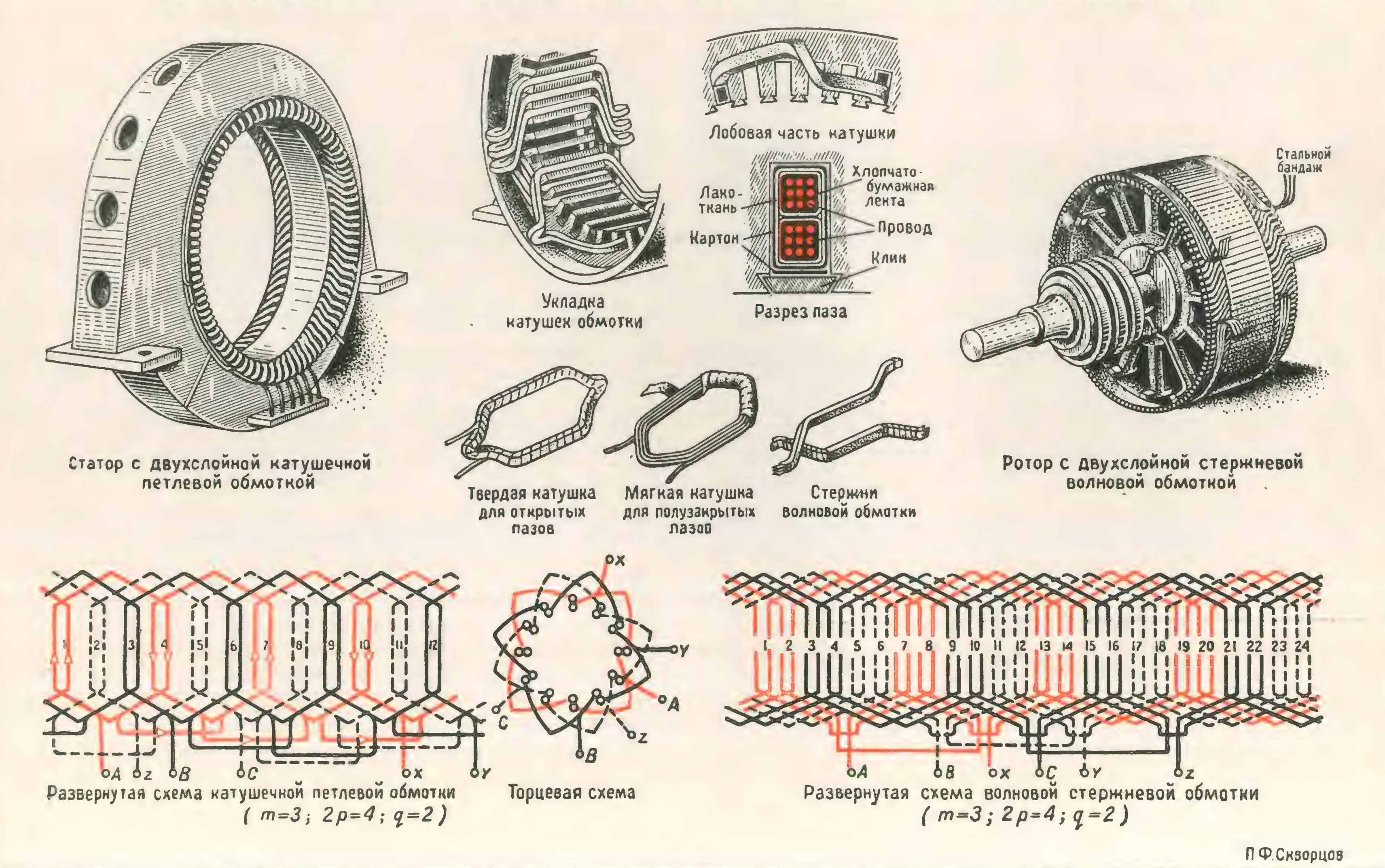


Расположение лобовых частей равнокатушечной обмотки

П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

ДВУХСЛОЙНАЯ ОБМОТКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ



Статор с двухслойной катушечной петлевой обмоткой

Ротор с двухслойной стержневой волновой обмоткой

Развернутая схема катушечной петлевой обмотки ($m=3$; $2p=4$; $q=2$)

Развернутая схема волновой стержневой обмотки ($m=3$; $2p=4$; $q=2$)

П.Ф. Скворцов

Худ. А Меньшиков

МАГНИТНАЯ СИСТЕМА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Фаза A

Фаза B

Фаза C

Двухполюсная машина ($2p=2$)

Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре

Статор

Ротор

Эквивалентная синусоида магнитной индукции B

Развертки

а) двухполюсной машины, b) четырехполюсной машины

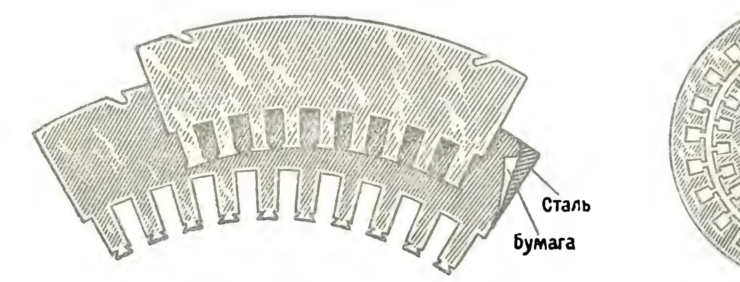
Фаза A

Фаза B

Фаза C

Четырехполюсная машина ($2p=4$)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ДВИГАТЕЛЕ

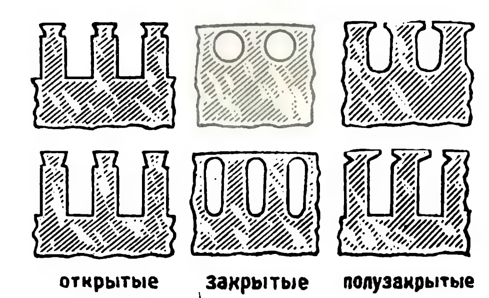


Листы-сегменты больших машин





Листы малых машин



Формы пазов

ШТАМПОВАННЫЕ ЛИСТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ (ЖЕЛЕЗА) СТАТОРА И РОТОРА

П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Фаза A

Фаза B

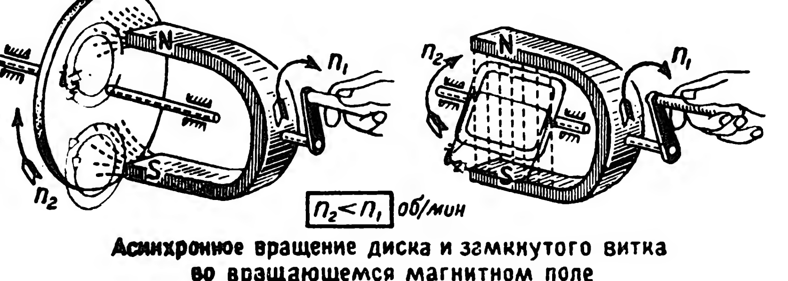
Фаза C

$t=0;\ i_A=I_м$

$t=\frac{1}{3}T;\ i_B=I_м$

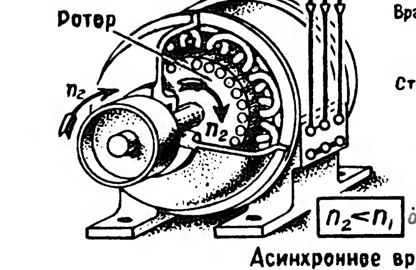
$t=\frac{2}{3}T;\ i_C=I_м$

ВРАЩАЮЩЕЕСЯ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТРЕХФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ



$n_2 < n_1$ об/мин

Асинхронное вращение диска и замкнутого витка во вращающемся магнитном поле



$n_2 < n_1$ об/мин

Асинхронное вращение ротора во вращающемся магнитном поле двигателя

$$n_1 = \frac{f\,60}{p} \text{ об/мин}$$

Синхронное число оборотов вращающегося поля

$$n_2 = n_1(1-S) \text{ об/мин}$$

Асинхронное число оборотов ротора

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Скольжение

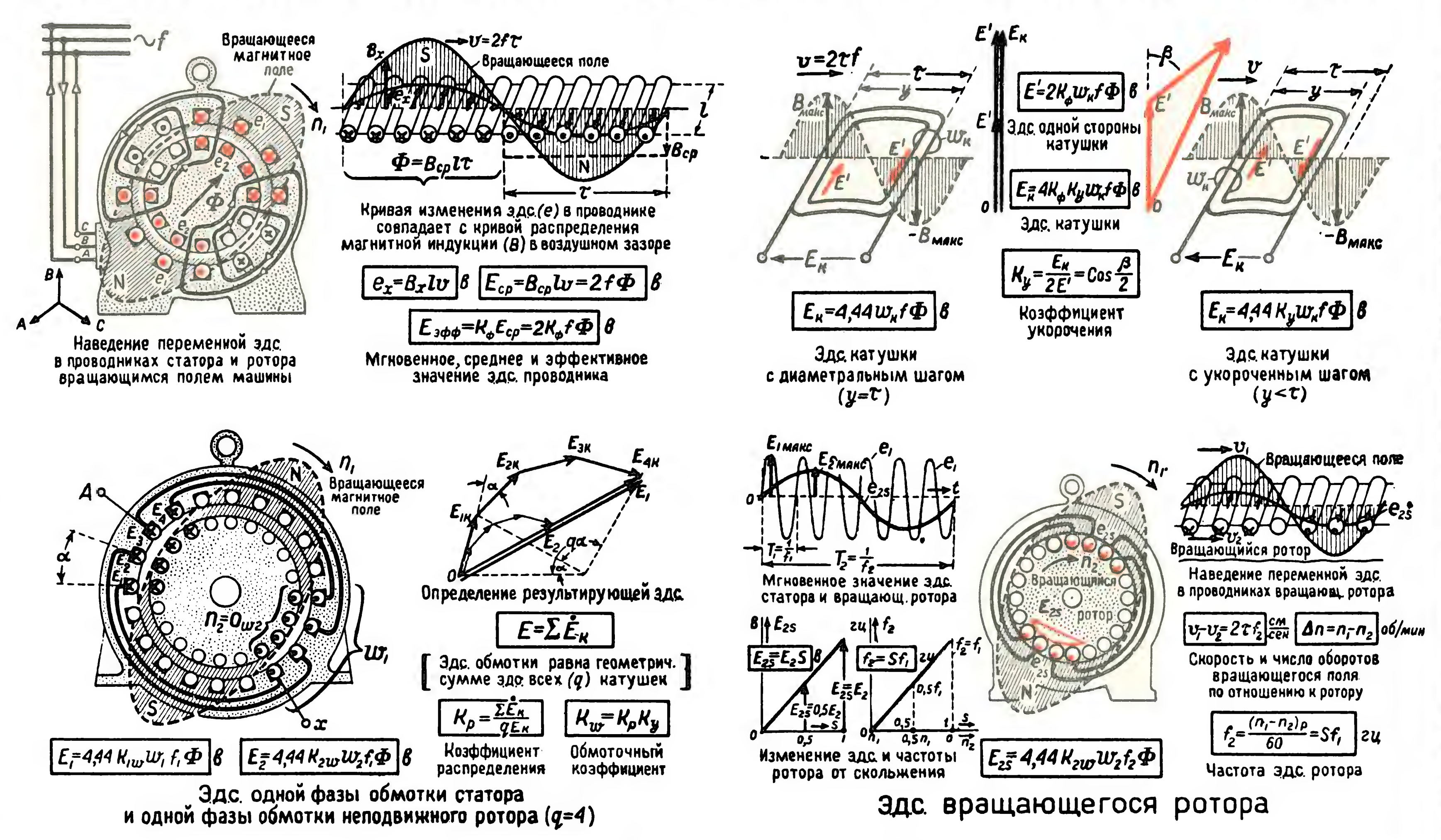
Число пар полюсов p	1	2	3	4	6
n_1	3000	1500	1000	750	500

Синхронное число оборотов поля ($f = 50$ гц)

П.Ф. Скворцов

Худ А. Меньшиков.

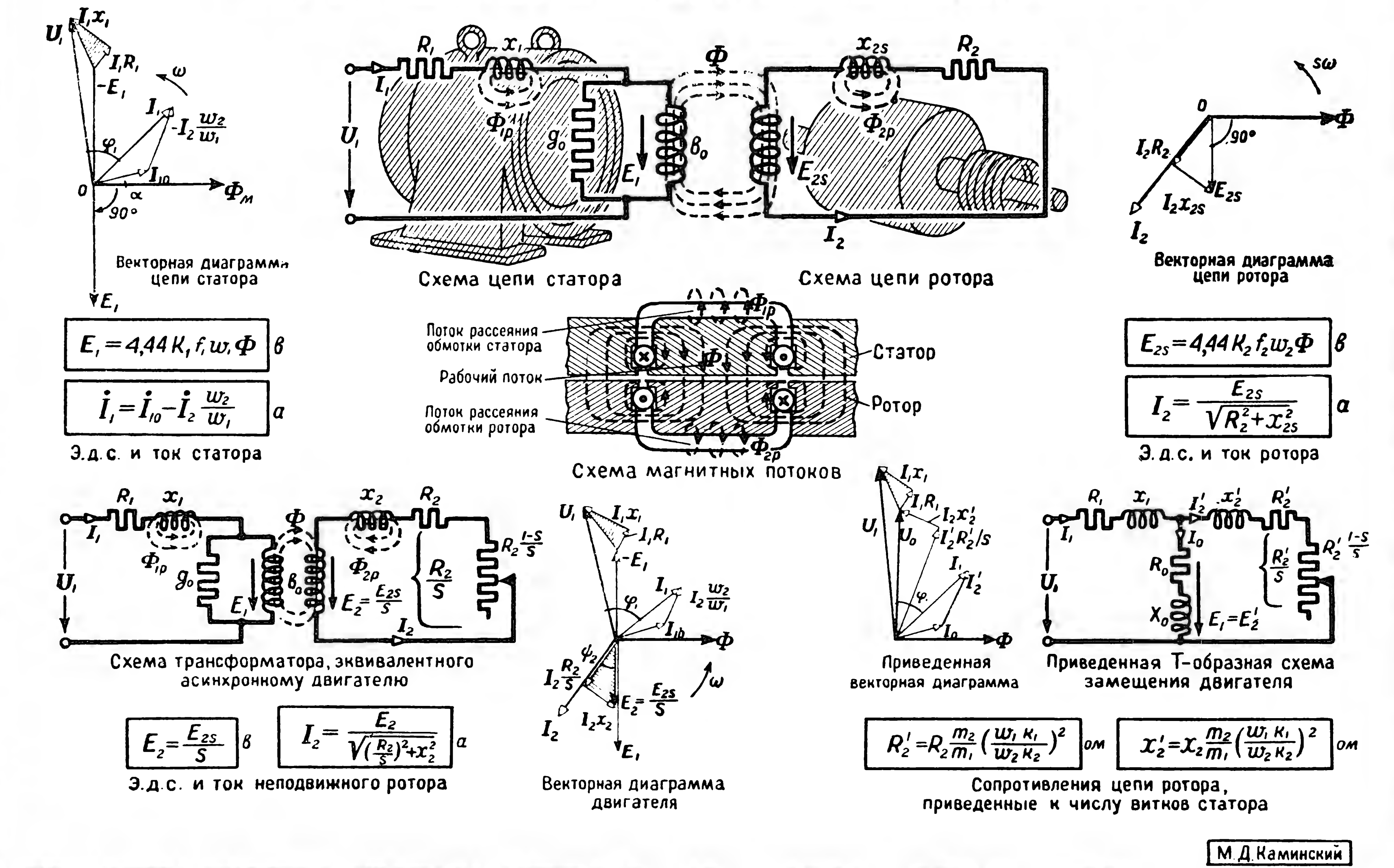
ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА (ЭДС) СТАТОРА И РОТОРА ДВИГАТЕЛЯ



П. Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков.

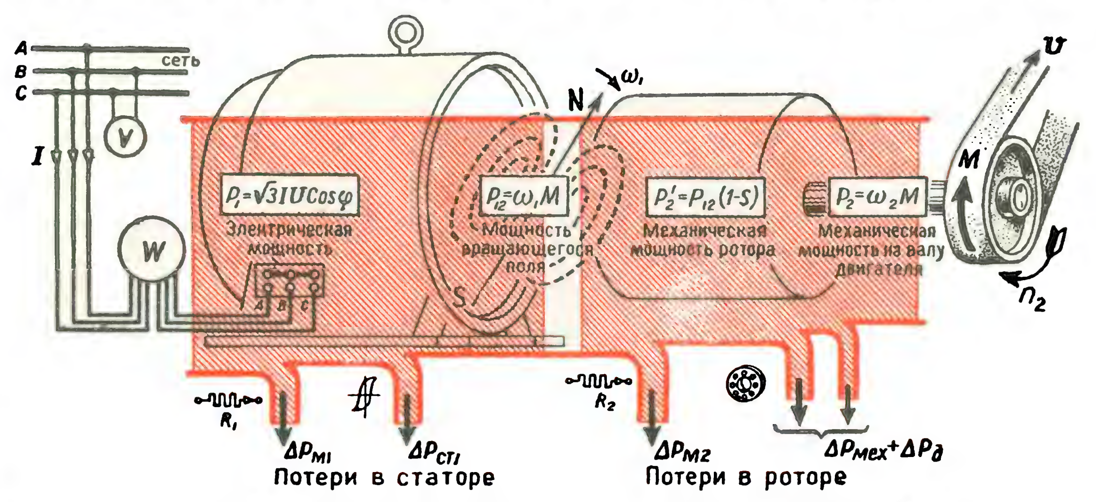
СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ



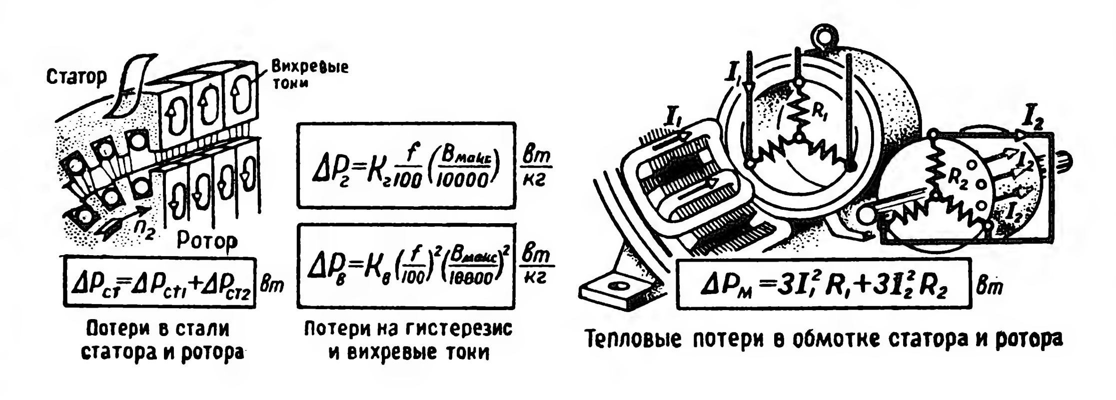
М.Д.Каминский

Худ А.Меньшиков

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА И КПД ДВИГАТЕЛЯ



Энергетическая диаграмма



$$\Delta P_{CT}=\Delta P_{CT1}+\Delta P_{CT2} \quad вт$$

Потери в стали статора и ротора

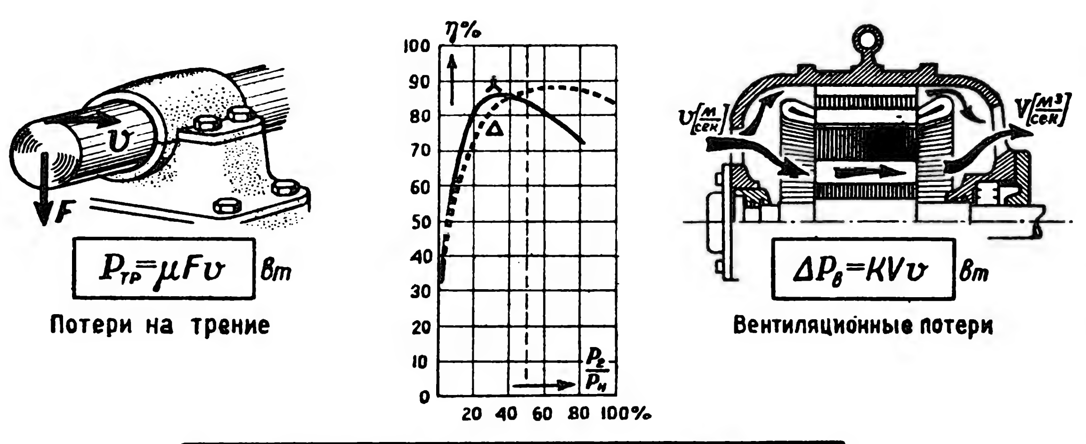
$$\Delta P_Г=K_Г\frac{f}{100}\left(\frac{B_{макс}}{10000}\right) \quad \frac{вт}{кг}$$

$$\Delta P_В=K_В\left(\frac{f}{100}\right)^2\left(\frac{B_{макс}}{10000}\right)^2 \quad \frac{вт}{кг}$$

Потери на гистерезис и вихревые токи

$$\Delta P_М=3I_1^2R_1+3I_2^2R_2 \quad вт$$

Тепловые потери в обмотке статора и ротора



$$P_{ТР}=\mu F v \quad вт$$

Потери на трение

$$\Delta P_В=KVv \quad вт$$

Вентиляционные потери

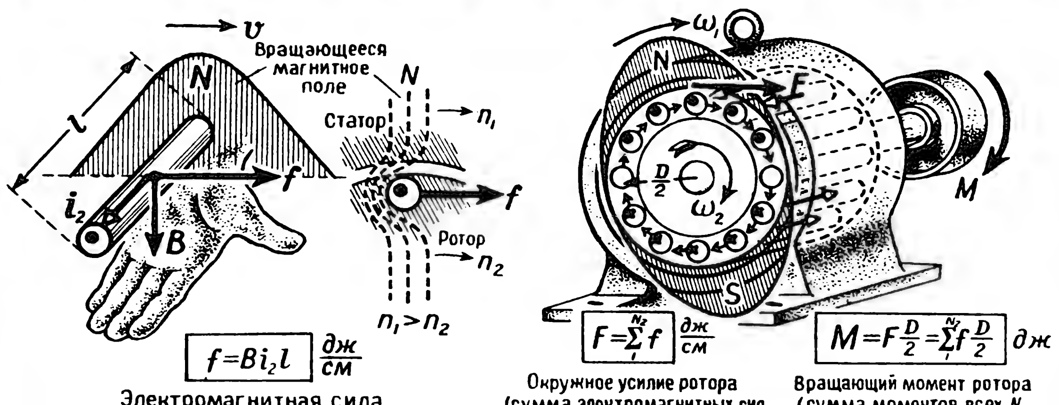
$$\eta=\frac{P_2}{P_1}=\frac{\sqrt{3}IU\cos\varphi-\Sigma\Delta P}{\sqrt{3}IU\cos\varphi}=1-\frac{\Sigma\Delta P}{\sqrt{3}IU\cos\varphi}$$

К.п.д. двигателя

М. Д. Каминский

Худ. А. Меньшиков

ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ



$$f = B i_2 l \quad \frac{дж}{см}$$

Электромагнитная сила, действующая на проводник ротора

$$F = \sum_1^{N_2} f \quad \frac{дж}{см}$$

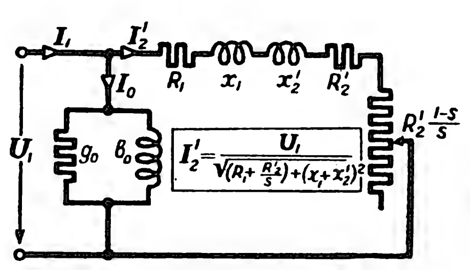
Окружное усилие ротора (сумма электромагнитных сил всех N_2 проводников ротора)

$$M = F\frac{D}{2} = \sum_1^{N_2} f\frac{D}{2} \quad дж$$

Вращающий момент ротора (сумма моментов всех N_2 проводников ротора)

$$M = \frac{N_2 p}{2\sqrt{2}} I_2 \Phi \cos\psi_2 \quad дж \qquad M = \frac{N_2 p}{9{,}81 \cdot 2\sqrt{2}} \cdot I_2 \Phi \cos\psi_2 \quad кГм$$

ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ ДВИГАТЕЛЯ
(электромагнитный момент ротора)



Упрощенная Г-образная схема замещения двигателя

$$M = \frac{3 I_2'^2 R_2'}{\omega_1 S} = \frac{3 U_1^2 R_2'}{\omega_1 S[(R_1 + \frac{R_2'}{S})^2 + (x_1 + x_2')^2]} \quad дж$$

Выражение вращающего момента, соответствующее упрощенной схеме

$$M_{макс} \approx \frac{3U_1^2}{\omega_1 2(R_1 + x_1 + x_2')} \quad дж \qquad M_{пуск} \approx \frac{3U_1^2 R_2'}{\omega_1 [(R_1 + R_2')^2 + (x_1 + x_2')^2]} \quad дж$$

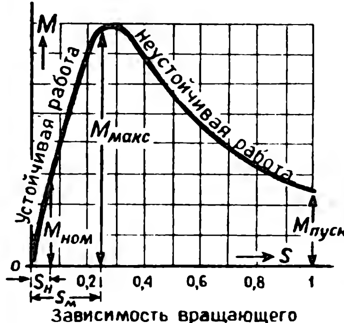
Максимальный и пусковой моменты двигателя

$$\frac{M_{макс}}{M_{ном}} \approx 1{,}6 \div 2{,}5$$

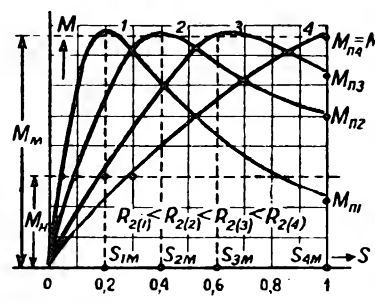
Перегрузочная способность двигателя

$$S_{макс} \approx \frac{R_2'}{x_1 + x_2'} = 12 \div 20\%$$

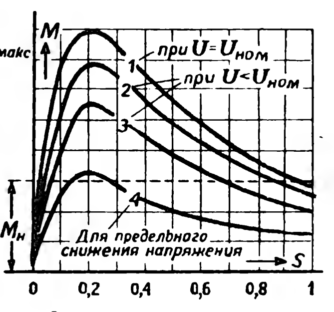
Скольжение при максимальном моменте



Зависимость вращающего момента от скольжения (механическая характеристика двигателя)



Зависимость вращающего момента от сопротивления цепи ротора R_2

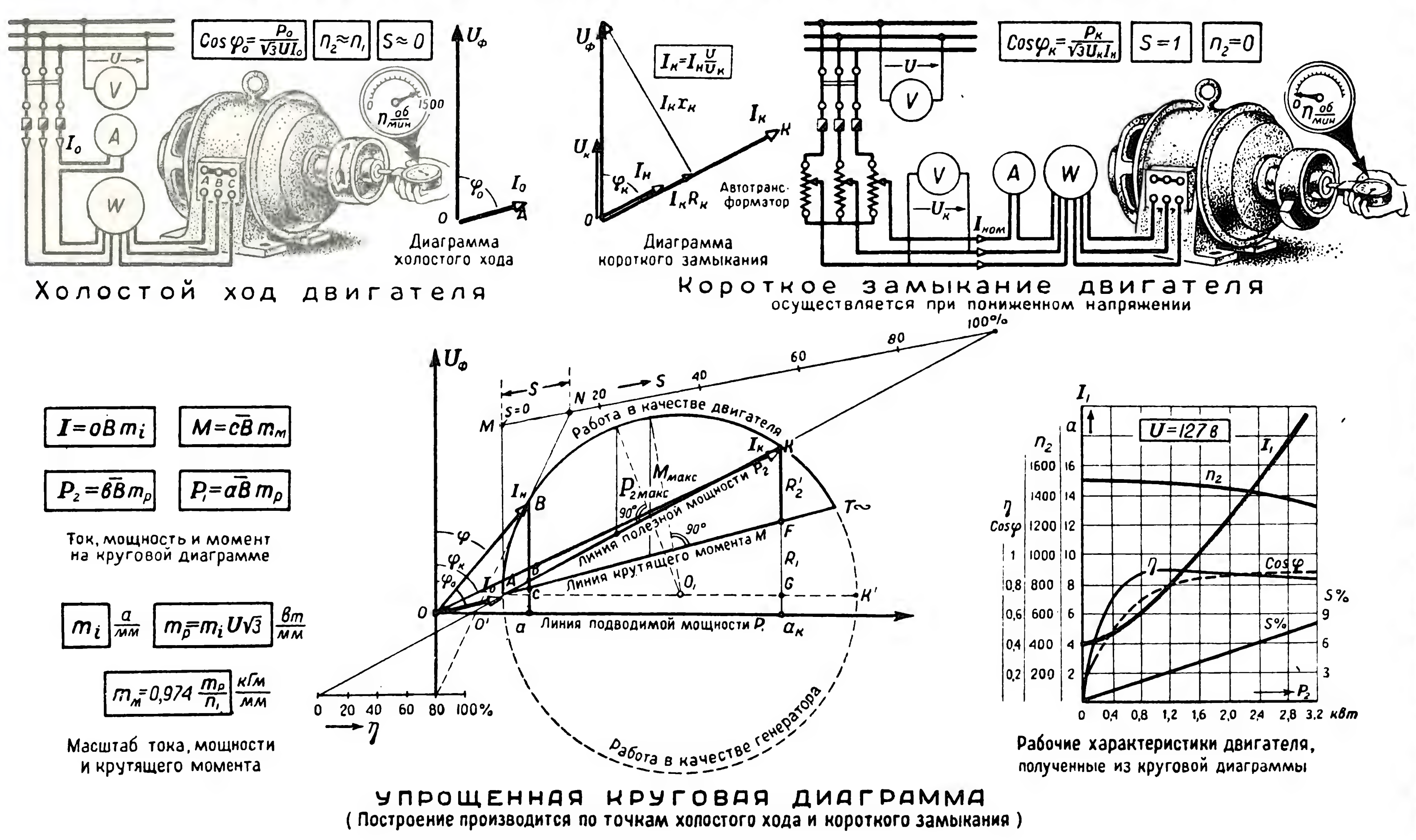


Зависимость вращающего момента от напряжения, подводимого к двигателю

П.Ф.Скворцов

Худ А Меньшиков

КРУГОВАЯ ДИАГРАММА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ



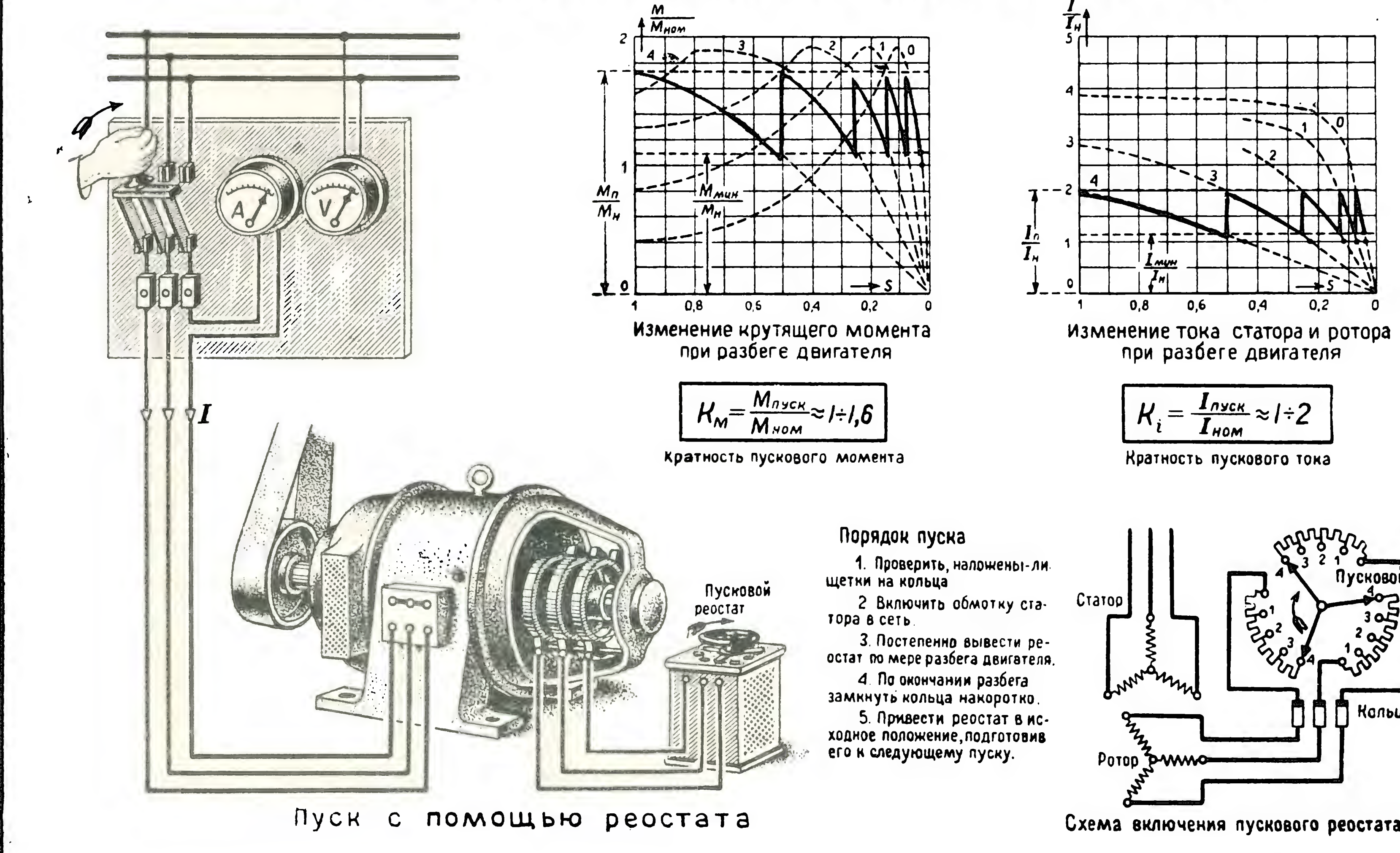
УПРОЩЕННАЯ КРУГОВАЯ ДИАГРАММА

(Построение производится по точкам холостого хода и короткого замыкания)

П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков.

ПУСК В ХОД ДВИГАТЕЛЕЙ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

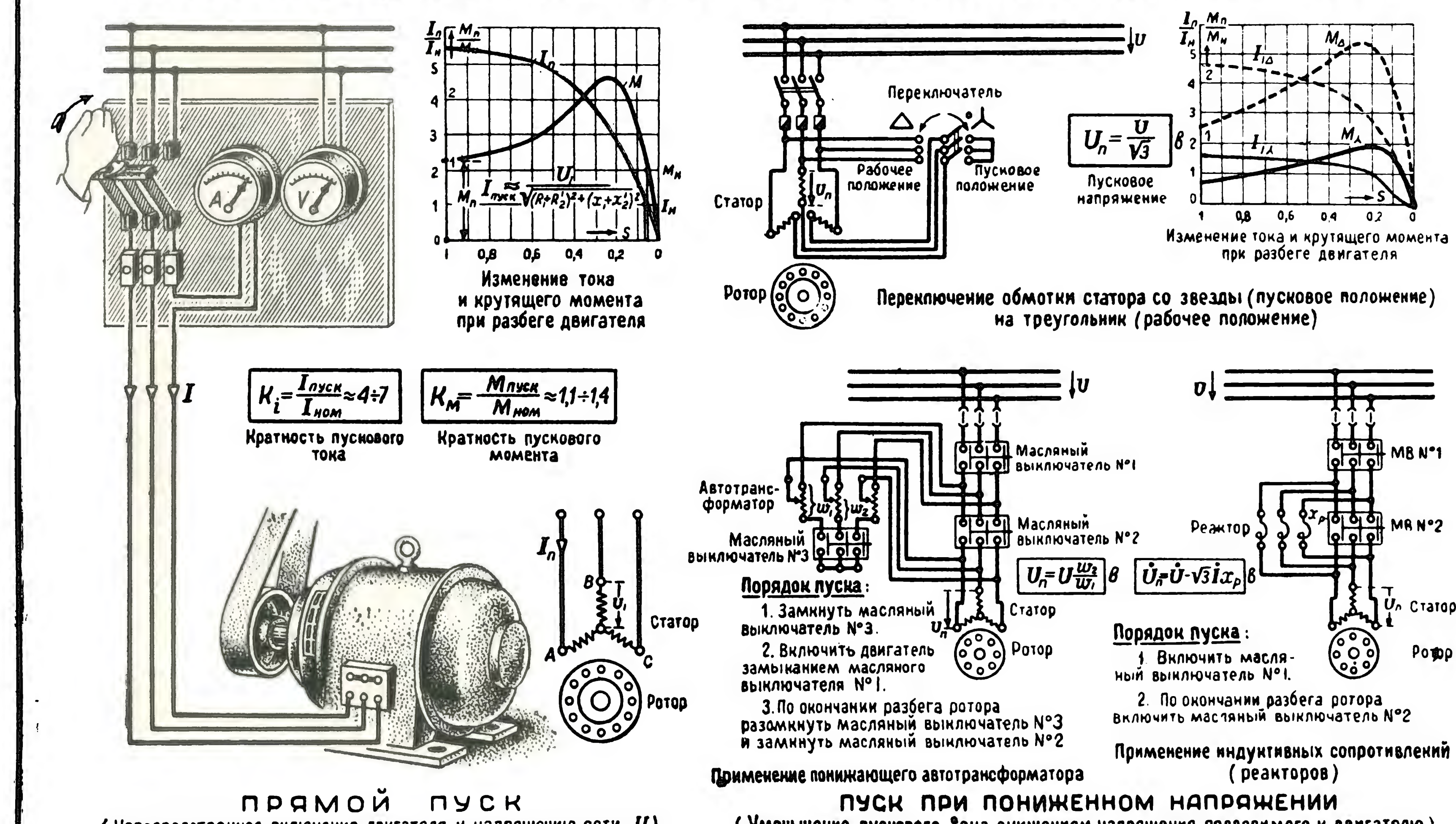


Порядок пуска

1. Проверить, наложены ли щетки на кольца.
2. Включить обмотку статора в сеть.
3. Постепенно вывести реостат по мере разбега двигателя.
4. По окончании разбега замкнуть кольца накоротко.
5. Привести реостат в исходное положение, подготовив его к следующему пуску.

М.Д.Каминский

Худ. А.Меньшиков



Худ А Меньшиков

ДВИГАТЕЛИ С ВЫТЕСНЕНИЕМ ТОКА В РОТОРЕ

Нижняя рабочая клетка

Верхняя пусковая клетка

Двухклеточный ротор с медными стержневыми клетками

$I_п$ Ток верхней клетки

$I_р$ Ток нижней клетки

$\delta_п$, $\delta_р$, $\delta\,[\frac{a}{мм^2}]$

$I_2 \approx I_п$ а

Распределение тока в роторе при пуске двигателя ($S=1$)

$I_2 = I_п + I_р$ а

Распределение тока в роторе при норм. работе двигателя ($S=S_{ном}$)

$M_п = 3I_п^2 R_п \frac{1}{S}$ дж $\quad M_р = 3I_р^2 R_р \frac{1}{S}$ дж

Крутящие моменты, развиваемые пусковой и рабочей клетками

$M = M_п + M_р$ дж

Крутящий момент двигателя

Ротор с двойной алюминиевой литой клеткой

R_1, x_1, $x'_{пр}$, I'_2, I_1, U_1, R_0, x_0, I_0, $I'_п$, $I'_р$, $\frac{R'_п}{S}$, $\frac{R'_р}{S}$, $X'_р$

Схема замещения двигателя

U, I_1, φ_1, I_{10}, $I_{1к}$, $M_{пуск}$, $M_{макс}$, $M_{ном}$, Q_1, $S=\infty$, 0

Работа двигателем

Генераторный режим

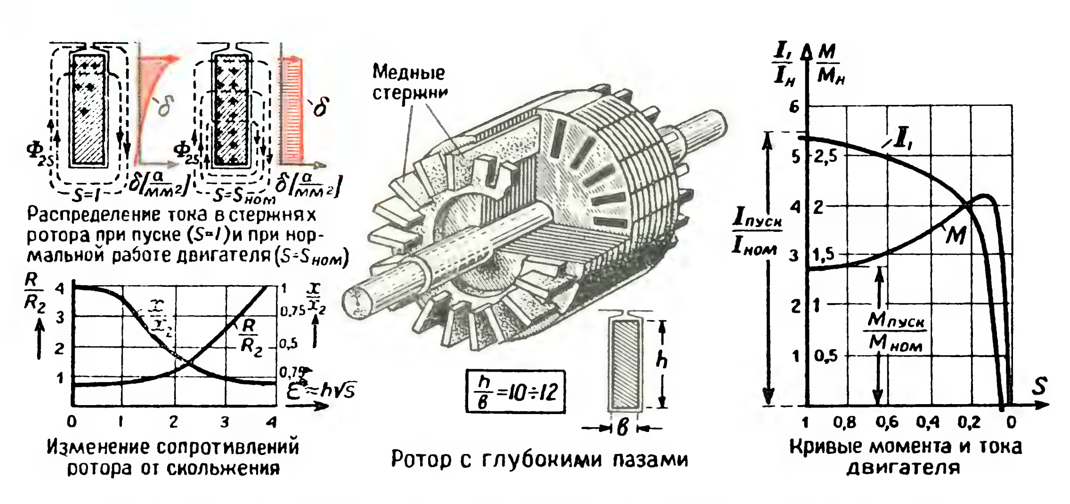
Диаграмма тока двигателя

$\frac{I_1}{I_н}$, $\frac{M}{M_н}$, $\frac{I_п}{I_н}$, $\frac{M_п}{M_н}$, I, M, $M_п$, $M_р$, S

5, 4, 3, 2, 1; 2, 1,5, 1, 0,5; 1, 0,8, 0,6, 0,4, 0,2

Кривые моментов и тока двигателя

ДВИГАТЕЛЬ С ДВОЙНОЙ КЛЕТКОЙ ДОЛИВО-ДОБРОВОЛЬСКОГО



Изменение сопротивлений ротора от скольжения

Ротор с глубокими пазами

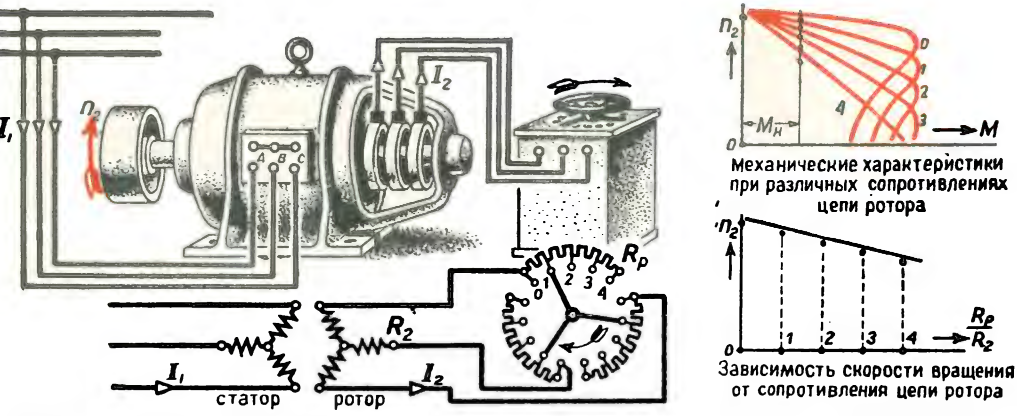
Кривые момента и тока двигателя

ДВИГАТЕЛЬ С ГЛУБОКИМИ ПАЗАМИ

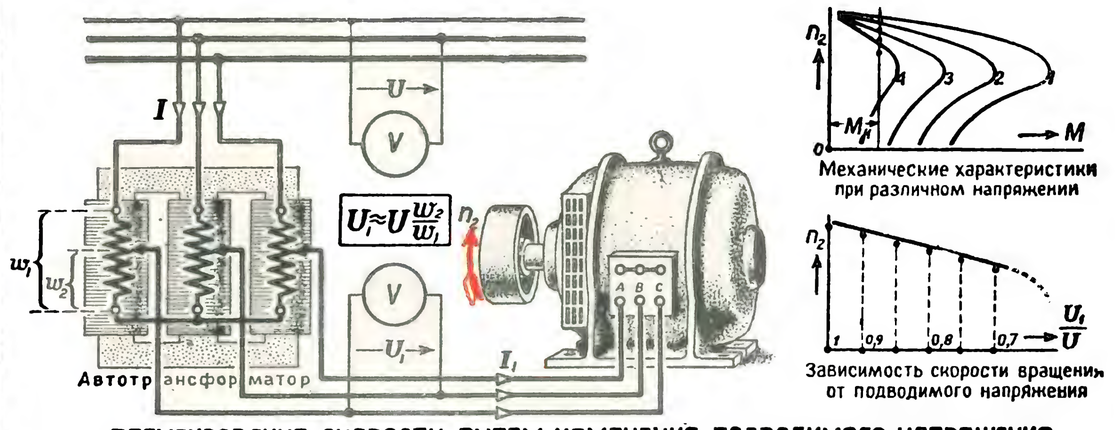
П.Ф. Скворцов

Художник Д. Меньшиков

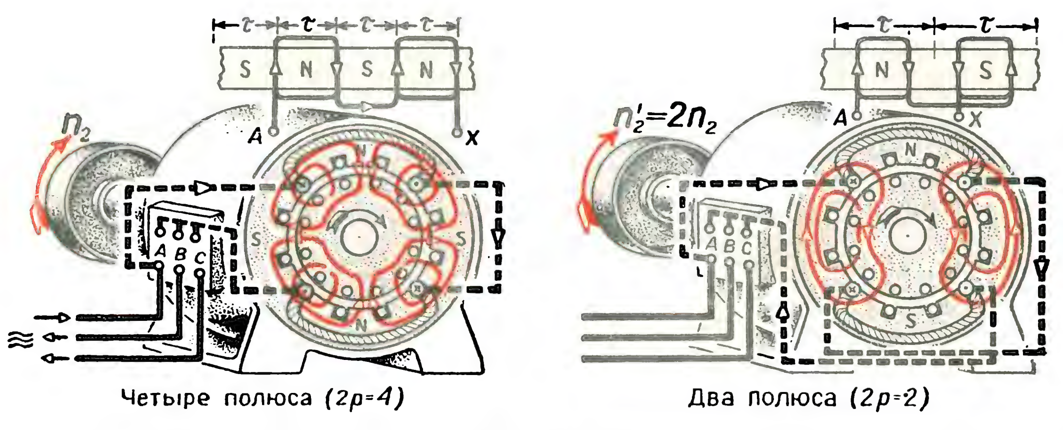
РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ



РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЦЕПИ РОТОРА



РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ПОДВОДИМОГО НАПРЯЖЕНИЯ



Четыре полюса (2p=4)

Два полюса (2p=2)

СТУПЕНЧАТОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛА ПОЛЮСОВ ДВИГАТЕЛЯ

П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

ОДНОФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

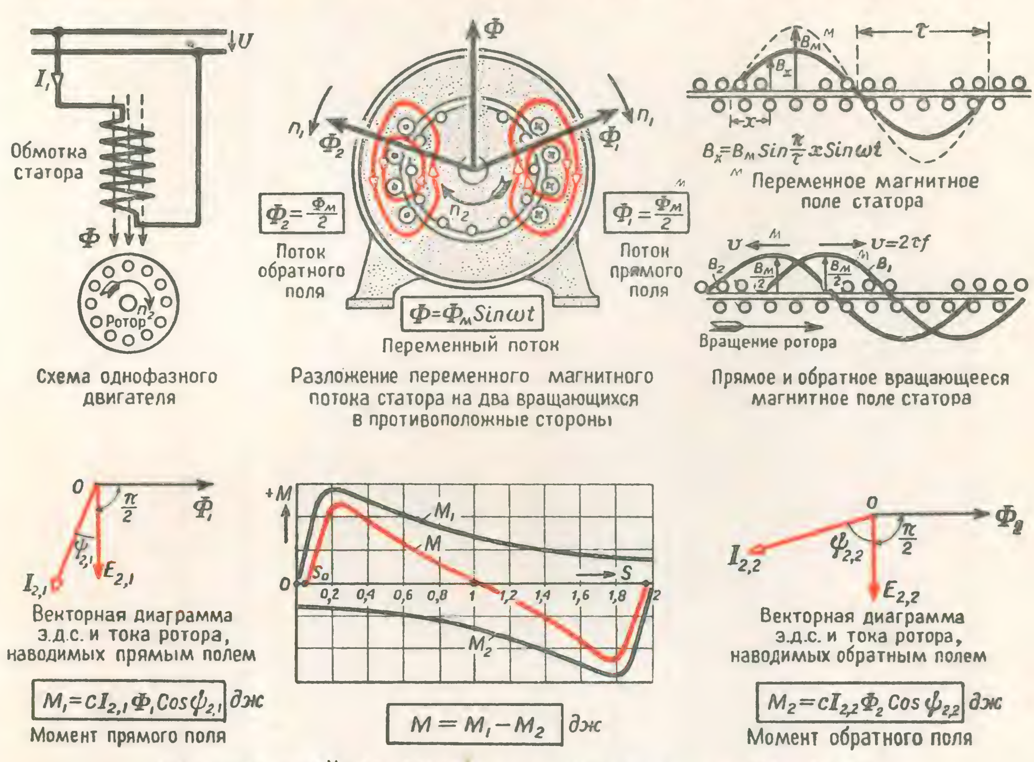


Схема однофазного двигателя

Разложение переменного магнитного потока статора на два вращающихся в противоположные стороны

Прямое и обратное вращающееся магнитное поле статора

Векторная диаграмма э.д.с. и тока ротора, наводимых прямым полем

$M_1 = cI_{2,1}\Phi_1 Cos\psi_{2,1}$ дж

Момент прямого поля

$M = M_1 - M_2$ дж

Векторная диаграмма э.д.с. и тока ротора, наводимых обратным полем

$M_2 = cI_{2,2}\Phi_2 Cos\psi_{2,2}$ дж

Момент обратного поля

ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ ОДНОФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ

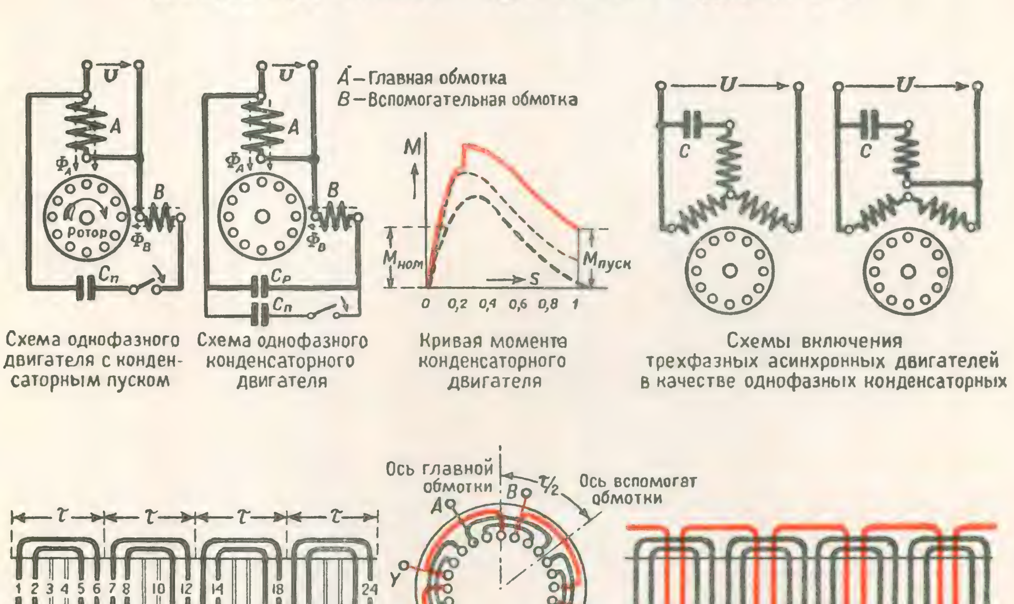


Схема однофазного двигателя с конденсаторным пуском

Схема однофазного конденсаторного двигателя

Кривая момента конденсаторного двигателя

Схемы включения трехфазных асинхронных двигателей в качестве однофазных конденсаторных

Схема однофазной однослойной обмотки ($m=1;\ 2p=4;\ q=4$)

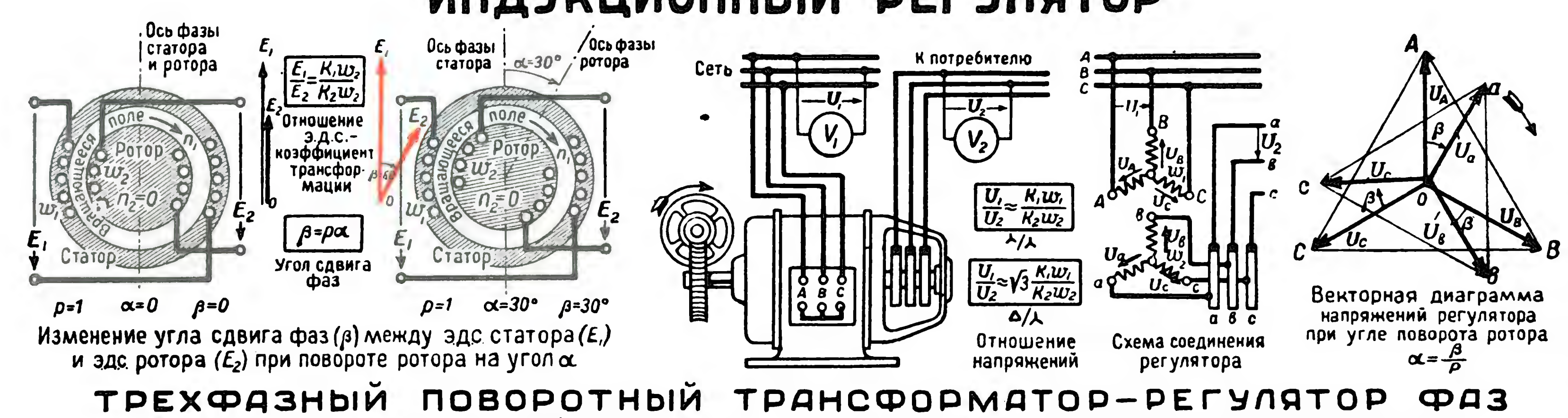
Торцевая схема обмотки

Схема главной (A-X) и вспомогательной (B-Y) обмоток однофазного двигателя

П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

ИНДУКЦИОННЫЙ РЕГУЛЯТОР



Изменение угла сдвига фаз (β) между эдс статора (E_1) и эдс ротора (E_2) при повороте ротора на угол α

ТРЕХФАЗНЫЙ ПОВОРОТНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР-РЕГУЛЯТОР ФАЗ

(использование асинхронного трехфазного двигателя с заторможенным ротором в качестве трансформатора)

Сеть

$U_1=\sqrt{3}U_a$

Статор

Ротор

Схема соединений индукционного регулятора

К потребителю

$$U_2=\sqrt{3}U_A$$

$$U_A=\sqrt{U_a^2+E_A^2+2U_aE_A\cos\varphi}$$

Линейное и фазовое вторичное напряжение

$U_{2мак}=U_1+\sqrt{3}E_A$

$U_{2мин}=U_1-\sqrt{3}E_A$

$\beta=-180°$ $\beta=0$ $\beta=+180°$

Изменение вторичного напряжения при повороте ротора

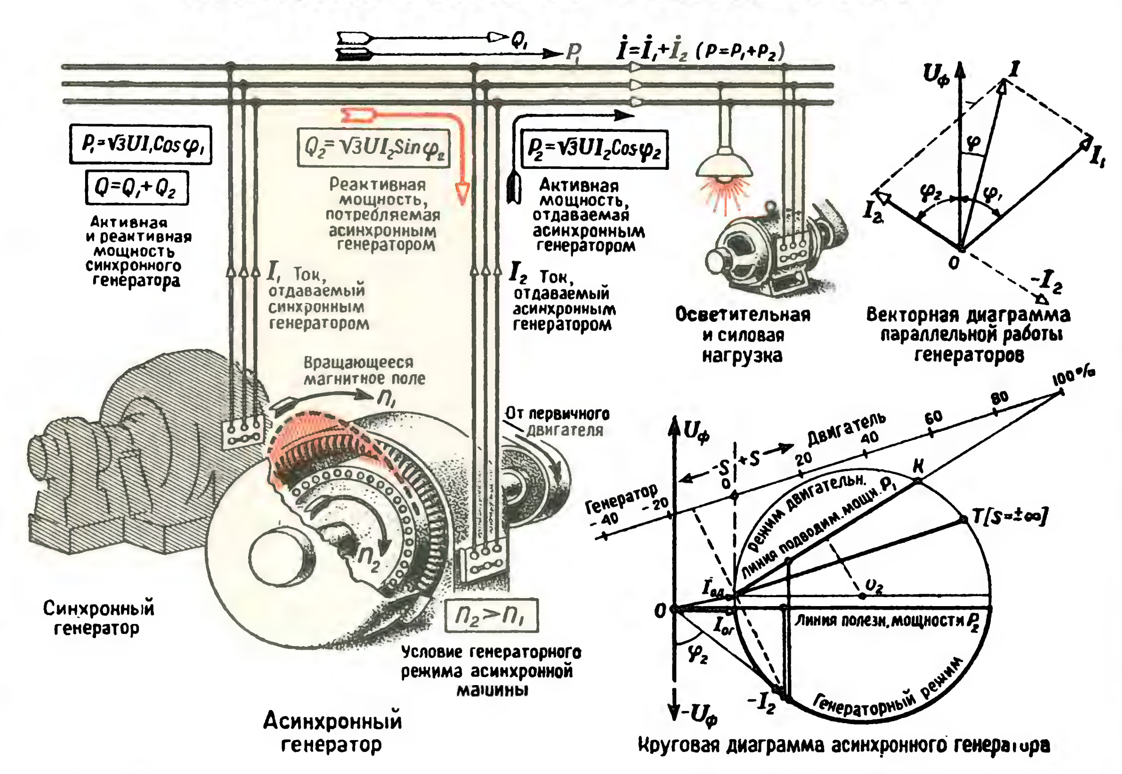
Векторная диаграмма напряжений регулятора при угле поворота ротора $\alpha=\frac{\beta}{p}$

ТРЕХФАЗНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ

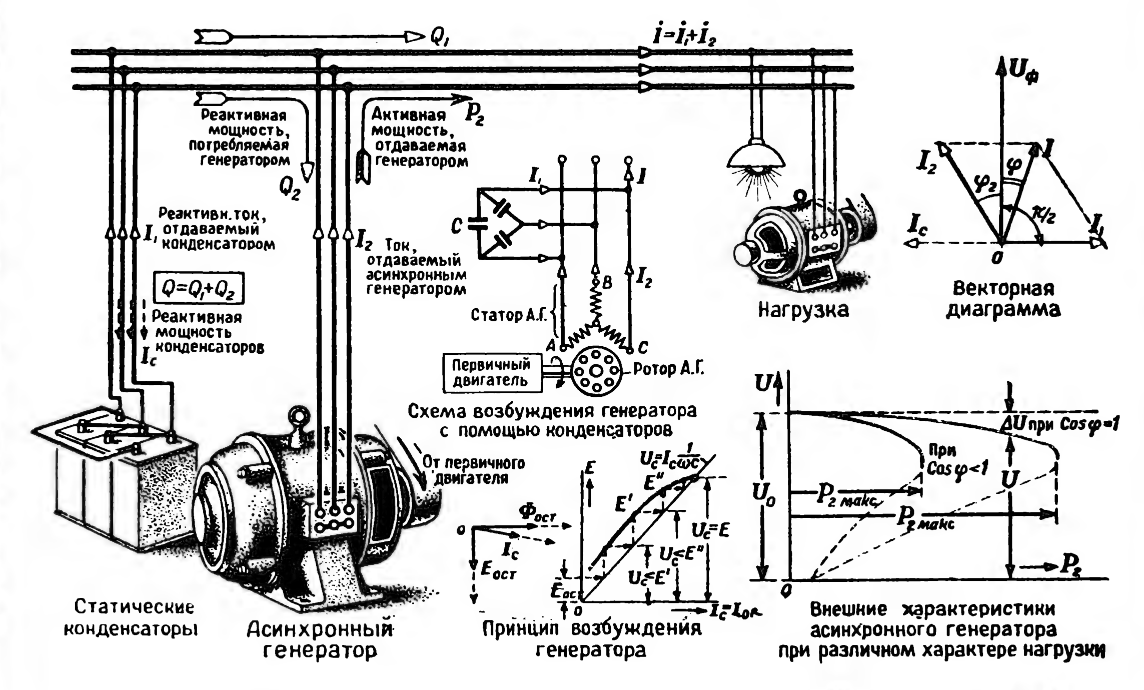
П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

АСИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР



СОВМЕСТНАЯ РАБОТА АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ



РАБОТА АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С КОНДЕНСАТОРНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

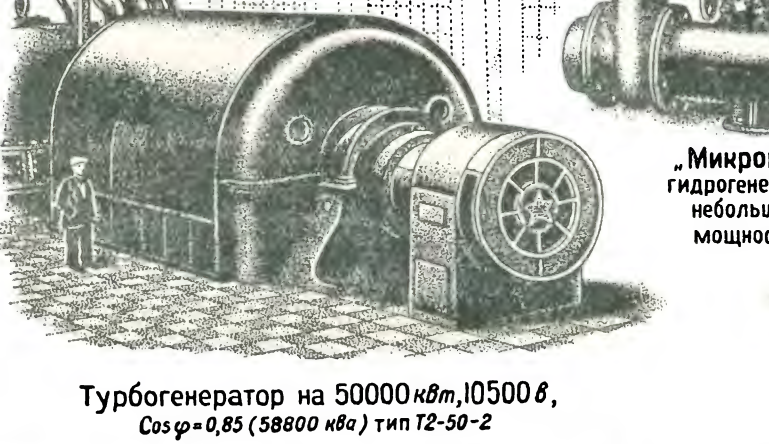
СИНХРОННАЯ МАШИНА

Подшипниковый щит со станиной возбудителя

Статор — якорь машины

Ротор — индуктор машины с якорем возбудителя

Подшипниковый щит



Турбогенератор на 50000 *квт*, 10500 *в*, *Cos φ = 0,85 (58800 ква) тип Т2-50-2*

„Микрогэс" гидрогенератор небольшой мощности

Гидрогенератор на 30000 *ква*, 11000 *в*

Подпятник
Статор
Верхний направл. подшипник
Ротор
Нижний напр. подшипник

Схема гидрогенератора подвесного типа

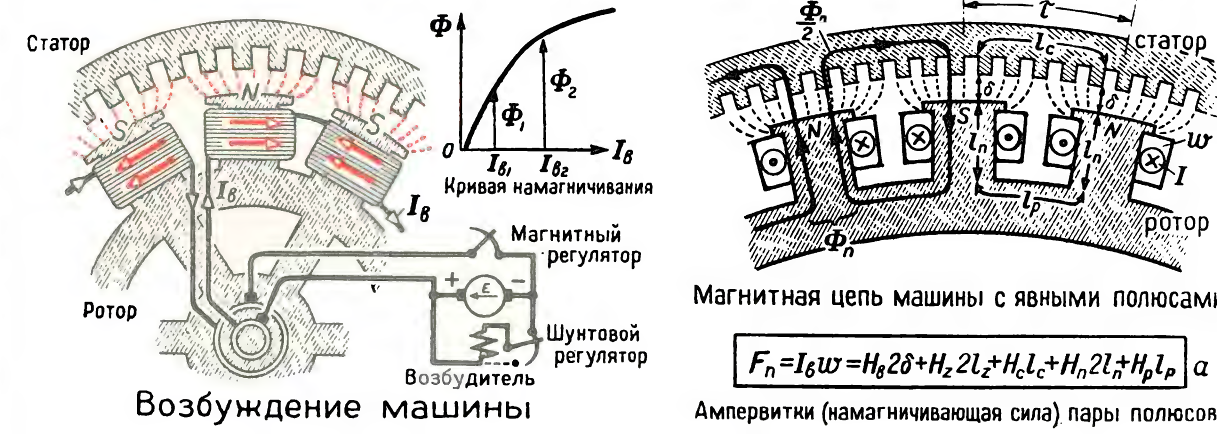
Статор
Ротор
Подпятник

Схема гидрогенератора зонтичного типа

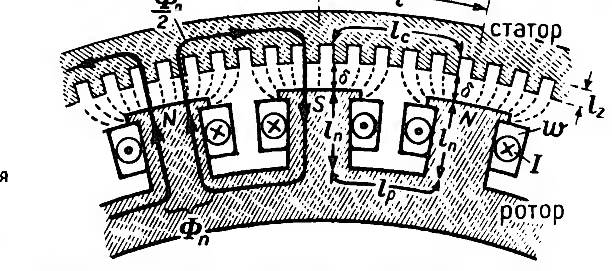
П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

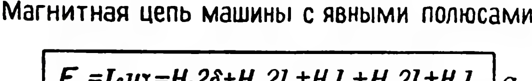
МАГНИТНАЯ СИСТЕМА СИНХРОННОЙ МАШИНЫ



Возбуждение машины

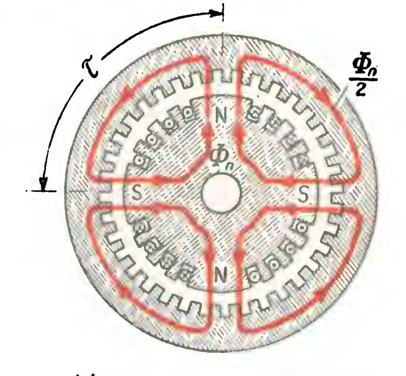


Магнитная цепь машины с явными полюсами

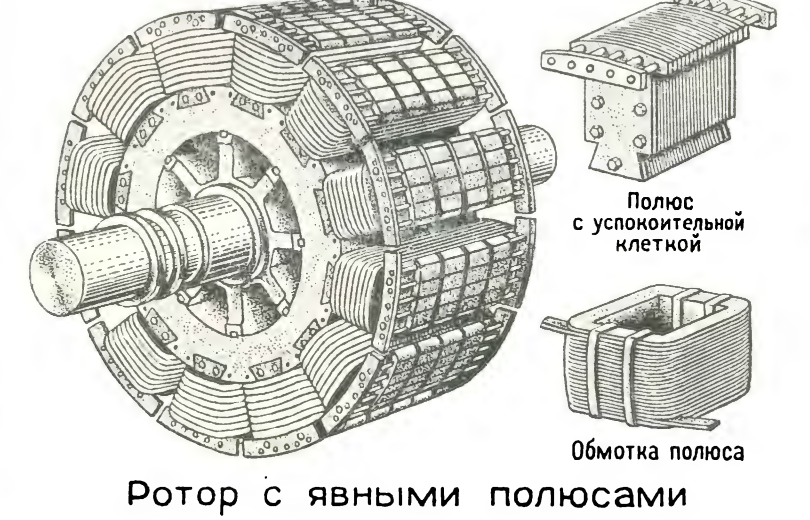


$$F_п = I_в w = H_\delta 2\delta + H_z 2l_z + H_c l_c + H_п 2l_п + H_р l_р \quad a$$

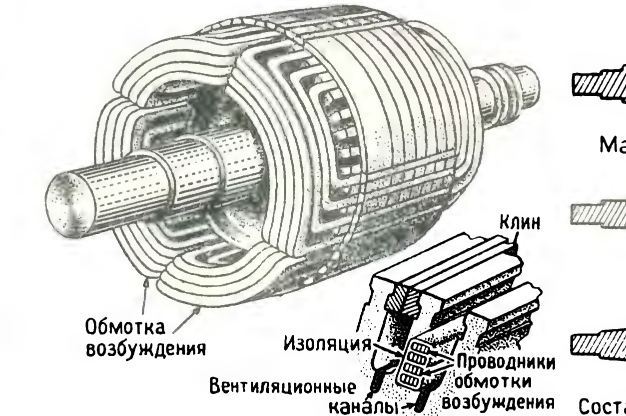
Ампервитки (намагничивающая сила) пары полюсов

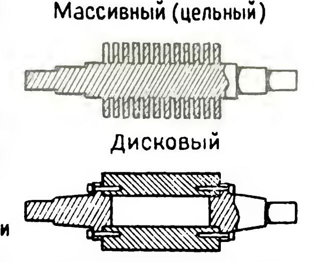


Магнитная цепь машины с неявными полюсами



Ротор с явными полюсами





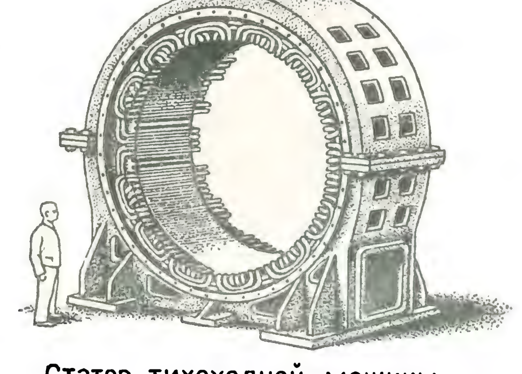
Конструкции ротора

Ротор с неявными полюсами

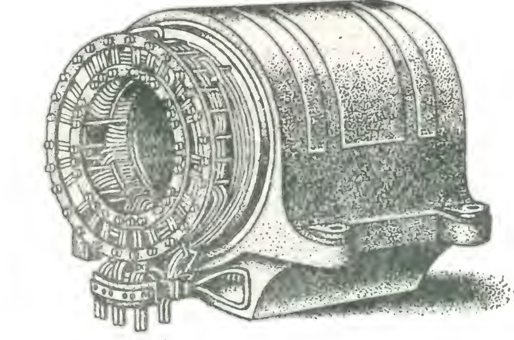
П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

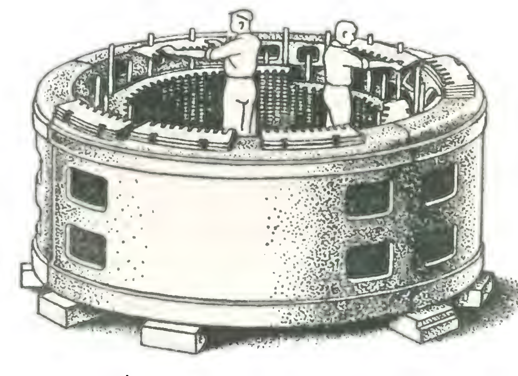
СТАТОР-ЯКОРЬ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ



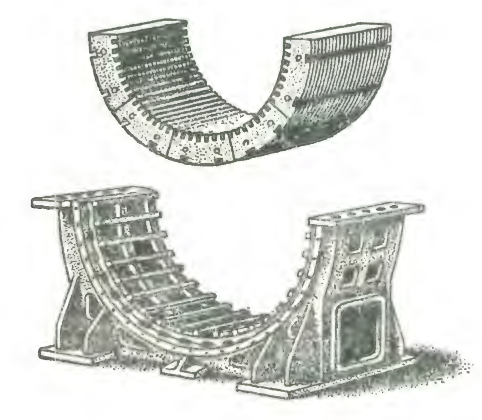
Статор тихоходной машины
(дизельгенератора)



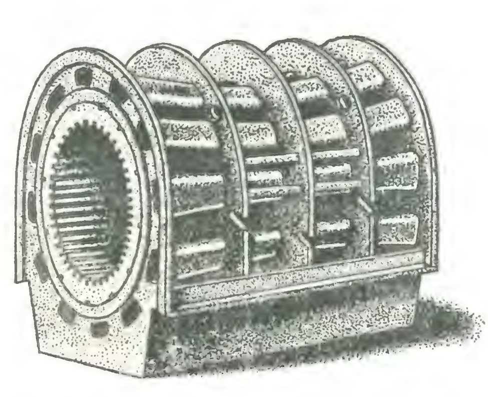
Статор быстроходной машины
(турбогенератора)



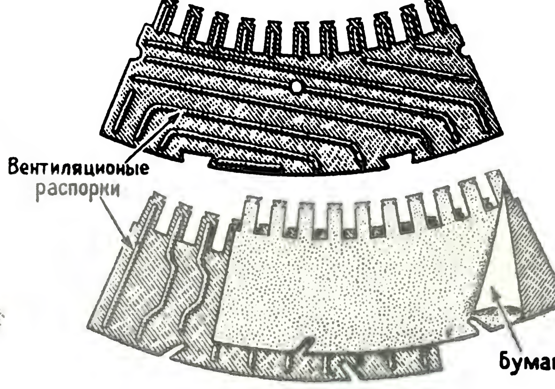
Сборка стали статора
(гидрогенератора)



Части корпуса и стали
статора тихоходной машины



Корпус статора быстроходной машины

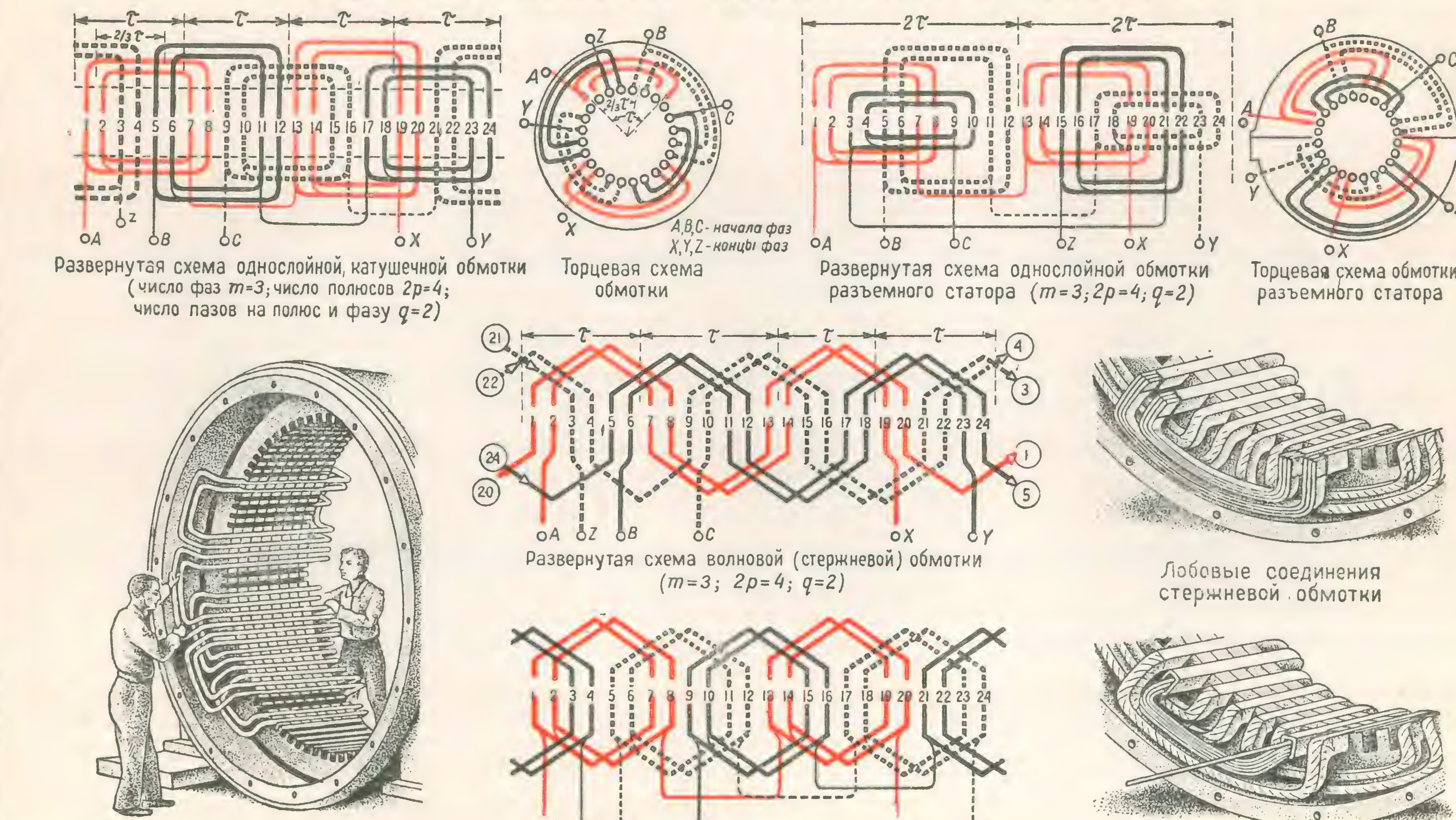


Штампованные листы (сегменты)
статорной стали

П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

ОДНОСЛОЙНАЯ ОБМОТКА СТАТОРА



Развернутая схема однослойной, катушечной обмотки (число фаз $m=3$; число полюсов $2p=4$; число пазов на полюс и фазу $q=2$)

Торцевая схема обмотки

Развернутая схема однослойной обмотки разъемного статора ($m=3$; $2p=4$; $q=2$)

Торцевая схема обмотки разъемного статора

Развернутая схема волновой (стержневой) обмотки ($m=3$; $2p=4$; $q=2$)

Лобовые соединения стержневой обмотки

Укладка катушечной шаблонной обмотки

Развернутая схема равносекционной обмотки с диаметральными катушками ($m=3$; $2p=4$; $q=2$)

Катушечная обмотка, выполняемая впротяжку

П.Ф.Скворцов

Худ А. Меньшиков

ДВУХСЛОЙНАЯ ОБМОТКА СТАТОРА

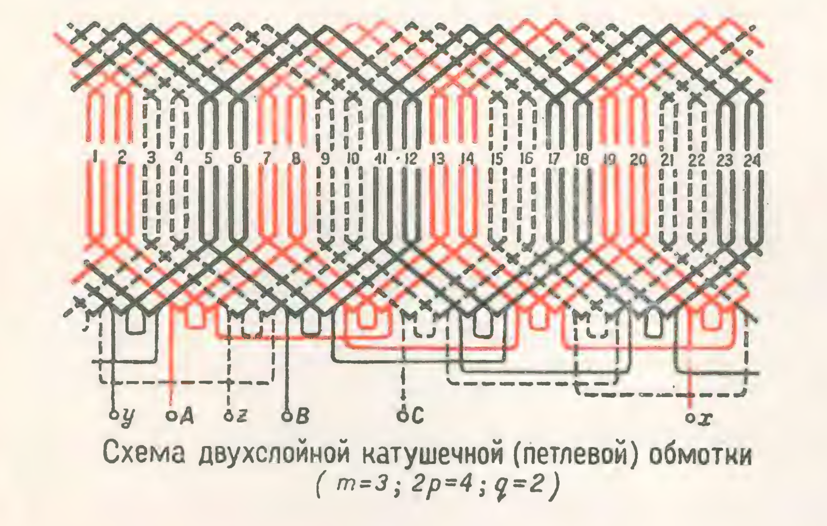


Схема двухслойной катушечной (петлевой) обмотки
($m=3;\ 2p=4;\ q=2$)

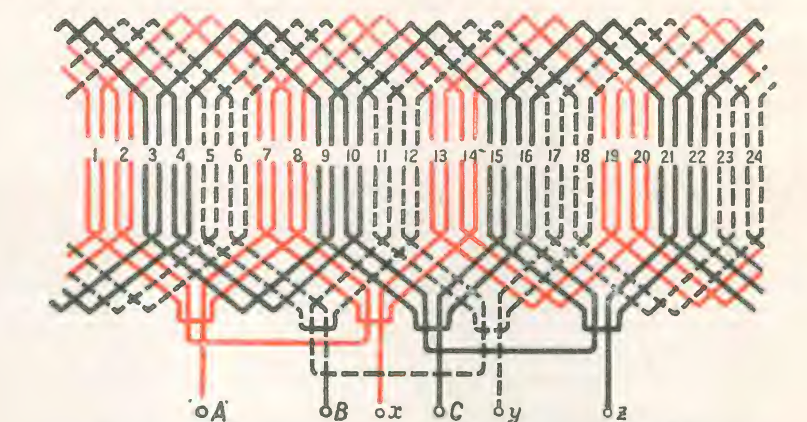
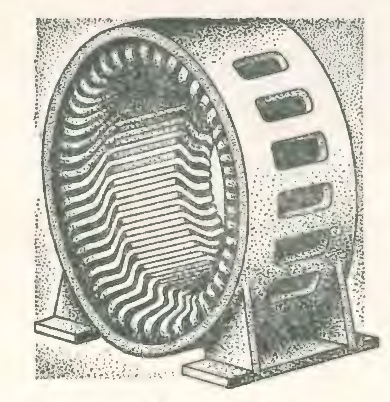
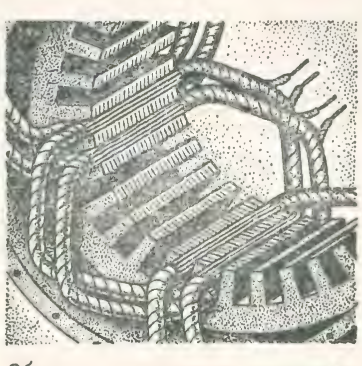
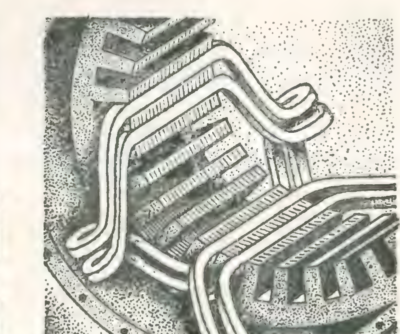


Схема двухслойной стержневой (волновой) обмотки
($m=3;\ 2p=4$)


Двухслойная обмотка


Обмотка с мягкими катушками


Обмотка с твердыми катушками

Укладка двухслойной катушечной обмотки

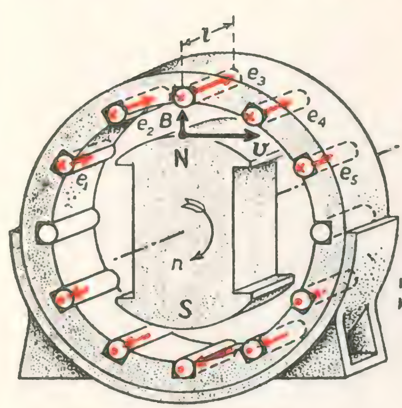


Укладка двухслойной стержневой обмотки

П.Ф.Скворцов

Худ. А. Меньшиков

ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА (ЭДС) СТАТОРА-ЯКОРЯ



Наведение переменной э.д.с. в проводниках статора двухполюсной машины ($2p=2$)

$$f=\frac{pn}{60}=\frac{n}{60}\ \text{гц}$$

Частота индуктированной э.д.с.

τ

$e_x(B_x)$ $E_{ср}(B_{ср})$ $E_{пр}$

x v

$\Phi = B_{ср} l \tau$

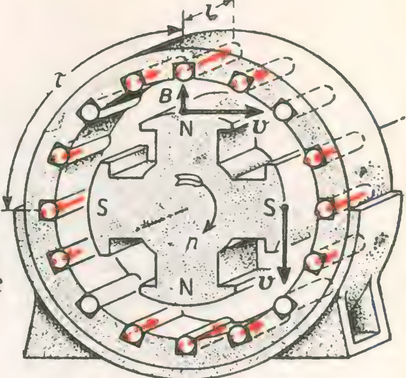
Кривая изменения э.д.с. (e) в проводнике совпадает с кривой изменения магнитной индукции (B) в воздушном зазоре

$$e_x = B_x l v\ \text{в}$$

$$E_{ср} = B_{ср} l v = 2f\Phi\ \text{в}$$

$$E_{пр} = K_\Phi E_{ср} = 2K_\Phi f\Phi\ \text{в}$$

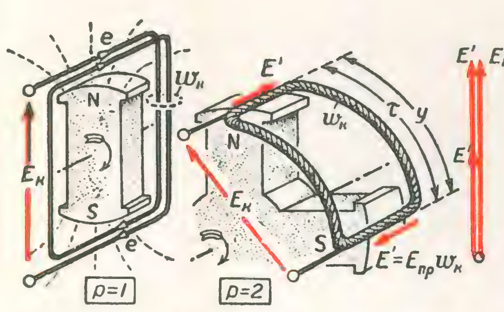
Мгновенное, среднее и эффективное значение э.д.с. проводника



Наведение переменной э.д.с. в проводниках статора четырехполюсной машины ($2p=4$)

$$f=\frac{pn}{60}=\frac{2n}{60}\ \text{гц}$$

Частота индуктированной э.д.с.



Э.д.с. катушки с диаметральным шагом ($y=\tau$)

$$E' = 2K_\Phi w_к f\Phi\ \text{в}$$

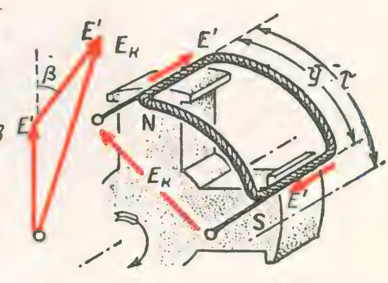
Э.д.с. одной стороны катушки

$$E_к = 4K_\Phi K_y w_к f\Phi\ \text{в}$$

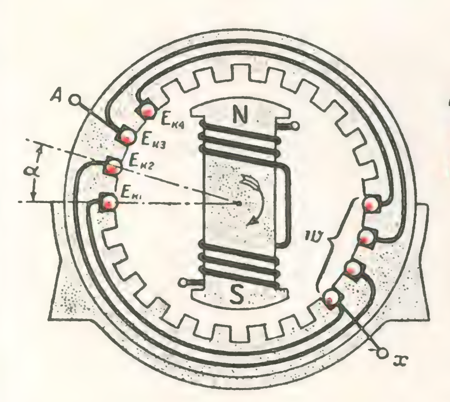
Э.д.с. катушки

$$K_y = \frac{E_к}{2E'} = \cos\frac{\beta}{2}$$

Коэффициент укорочения



Э.д.с. катушки с укороченным шагом ($y<\tau$)



Э.д.с. одной фазы обмотки статора ($q=4$)



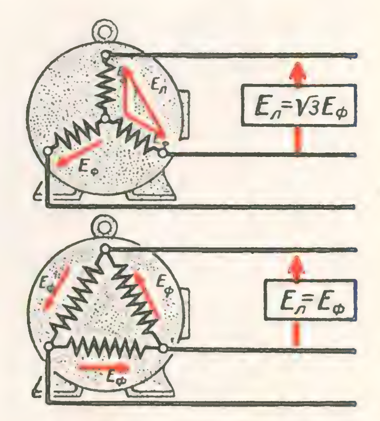
Определение результирующей э.д.с.

$$E=\sum \dot{E}_к = 4K_\Phi K_y K_p f w\Phi$$

Э.д.с. обмотки равна геометрич. сумме эдс всех (q) катушек

$$K_p = \frac{E}{q\cdot E_к}$$

Коэффициент распределения

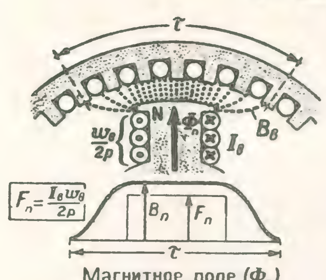


Соединение трехфазной обмотки в звезду и треугольник

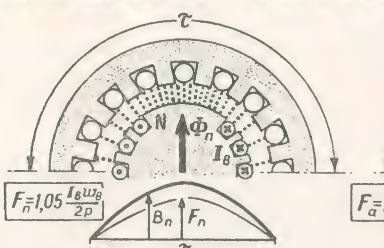
П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

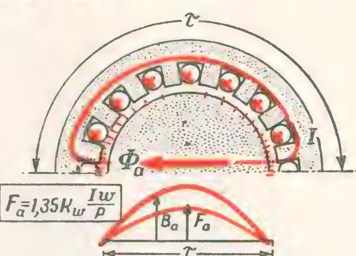
РЕАКЦИЯ ЯКОРЯ



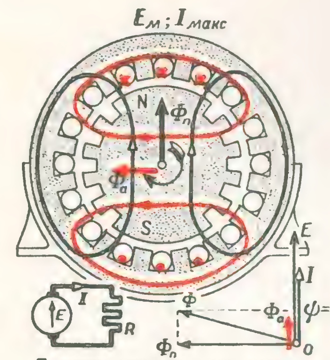
Магнитное поле (Φ_n) обмотки возбуждения явнополюсной машины



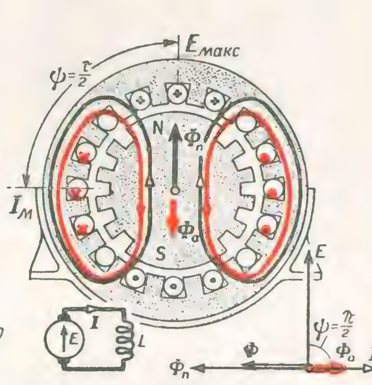
Магнитное поле (Φ_n) обмотки возбуждения неявнополюсной машины



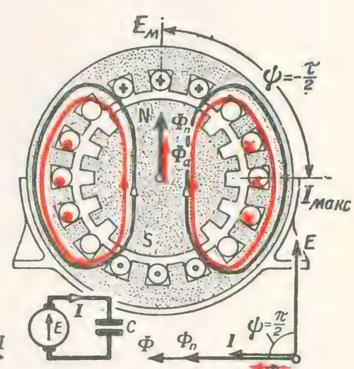
Магнитное поле (Φ_a) реакции якоря



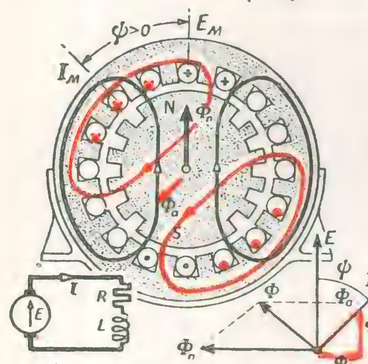
Поперечная реакция якоря (активная нагрузка)



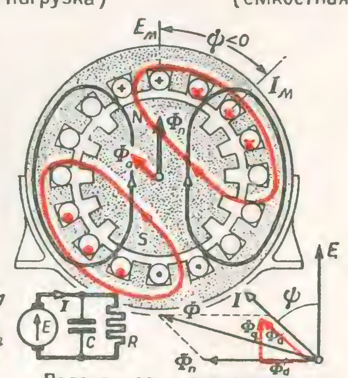
Продольная размагничивающая реакция якоря (индуктивная нагрузка)



Продольная намагничивающая реакция якоря (емкостная нагрузка)

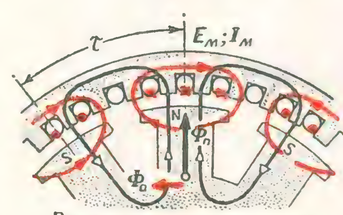


Поперечная и продольная размагничивающая реакция якоря (активная и индуктивная нагрузка)

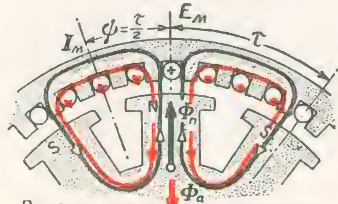


Поперечная и продольная намагничивающая реакция якоря (активная и емкостная нагрузка)

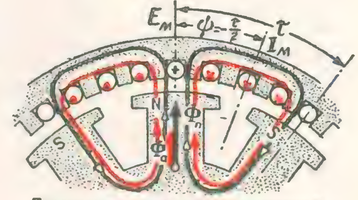
РЕАКЦИЯ ЯКОРЯ В НЕЯВНОПОЛЮСНОЙ МАШИНЕ



Поперечная реакция якоря



Продольная размагничивающая реакция якоря

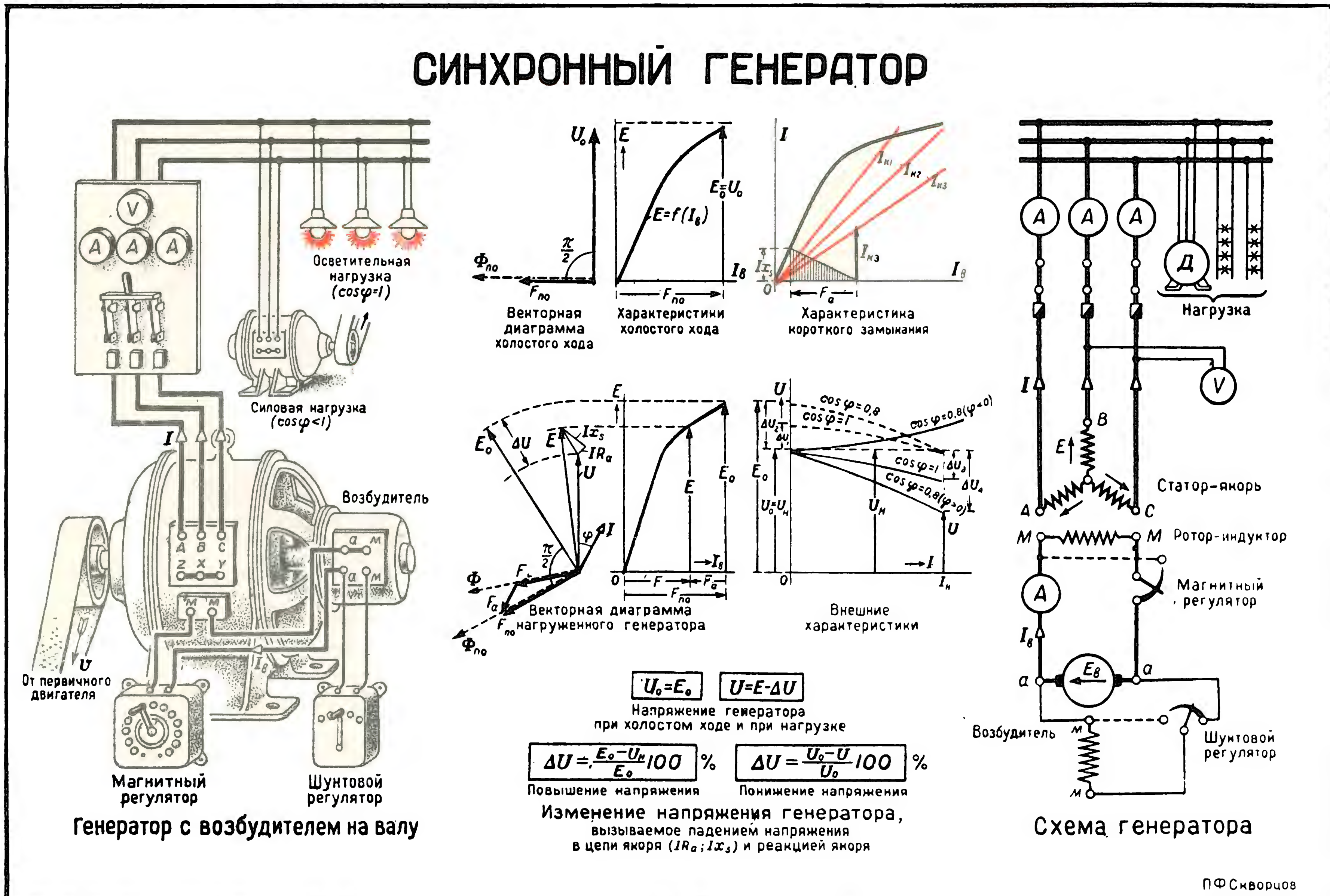


Продольная намагничивающая реакция якоря

РЕАКЦИЯ ЯКОРЯ В ЯВНОПОЛЮСНОЙ МАШИНЕ

П.Ф.Скворцов

Худ А.Меньшиков



Худ. А. Меньшиков

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

Катод
Анод
$I_в$
Медный диск
Свинцовая шайба
Запирающий слой
Слой закиси меди

Схема действия купроксного выпрямителя

Катод
Анод
$I_в$
Запирающий слой
Железный диск
Катодный слой
Слой селена

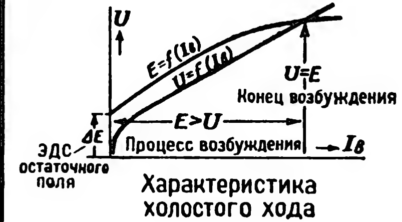
Схема действия селенового выпрямителя

Нагрузка (осветительная и силовая)
$I'_в$
I
$I_г$
От первичного двигателя
Выпрямители
$I_в$
Магнитный регулятор

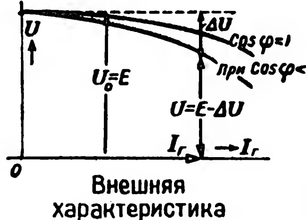
Самовозбуждающийся генератор с купроксными выпрямителями

Выпрямители

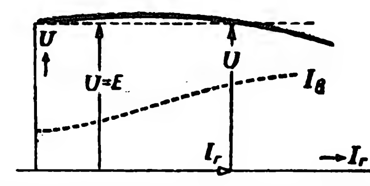
Генератор ССГ-15-6 на 15 *ква* 230 *в* с селеновыми выпрямителями



Характеристика холостого хода



Внешняя характеристика



Внешняя характеристика генератора с вольтодобавочным трансформатором

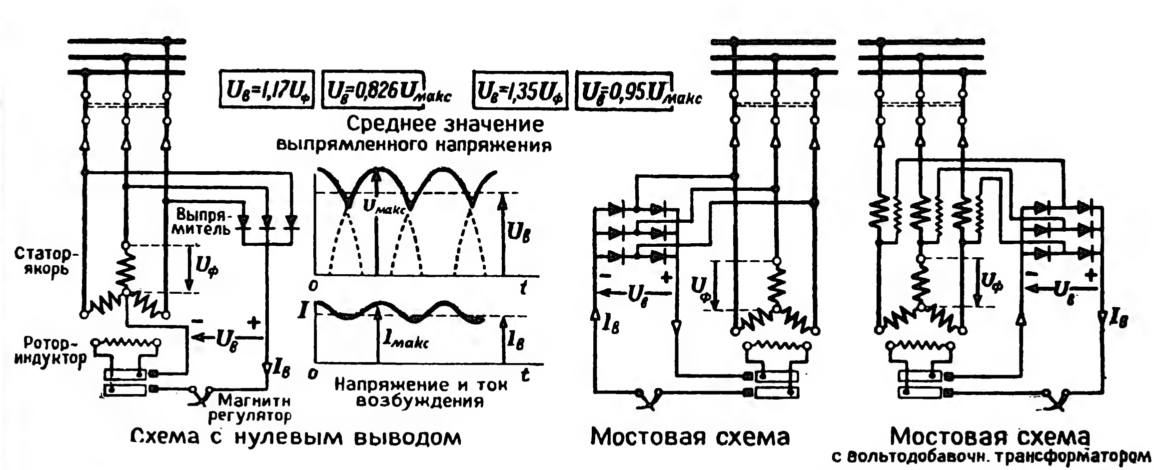


Схема с нулевым выводом

Мостовая схема

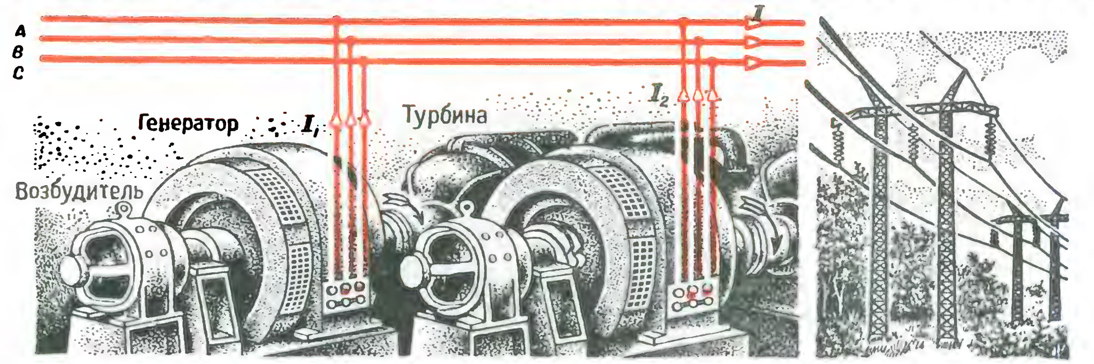
Мостовая схема с вольтодобавочн. трансформатором

СХЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ОТ ТВЕРДЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ



Параллельная работа двух турбогенераторов на общую нагрузку (сеть)

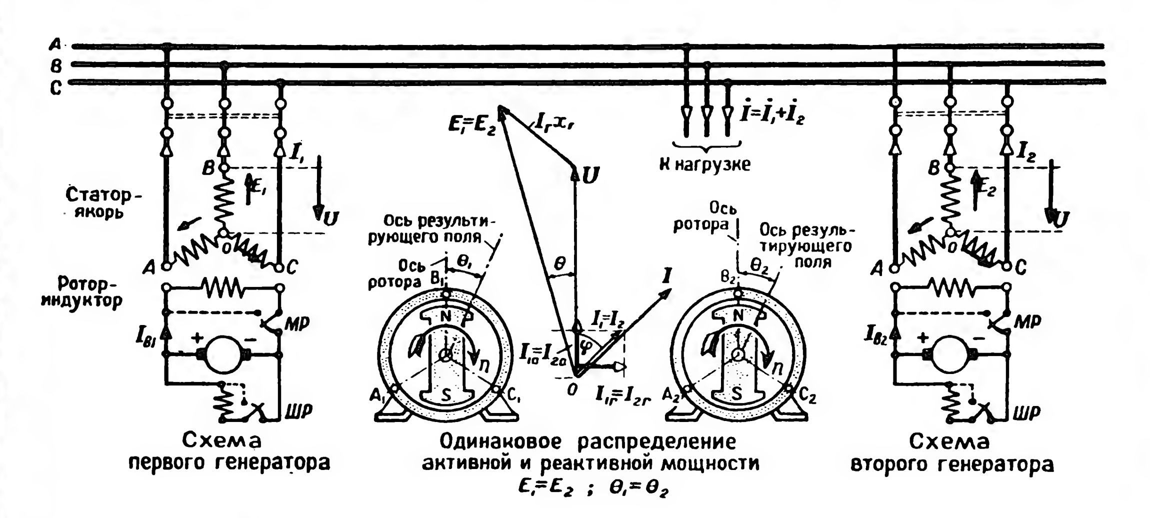
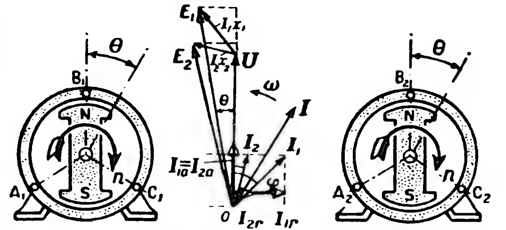


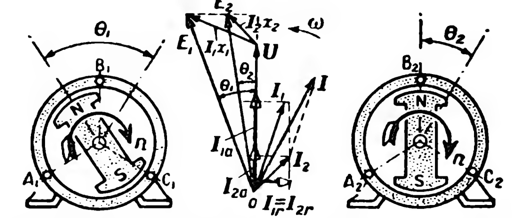
Схема первого генератора

Одинаковое распределение активной и реактивной мощности $E_1=E_2$; $\theta_1=\theta_2$

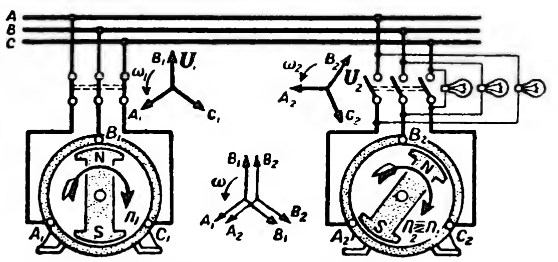
Схема второго генератора



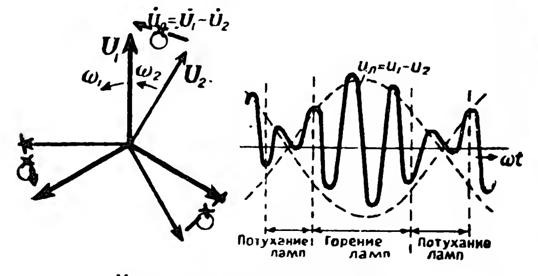
Неодинаковое распределение реактивной мощности $E_1>E_2$; $I_1 \sin\varphi_1>I_2 \sin\varphi_2$



Неодинаковое распределение активной мощности $\theta_1>\theta_2$; $I_1 \cos\varphi_1>I_2 \cos\varphi_2$



Синхронизация при помощи синхронизирующих ламп

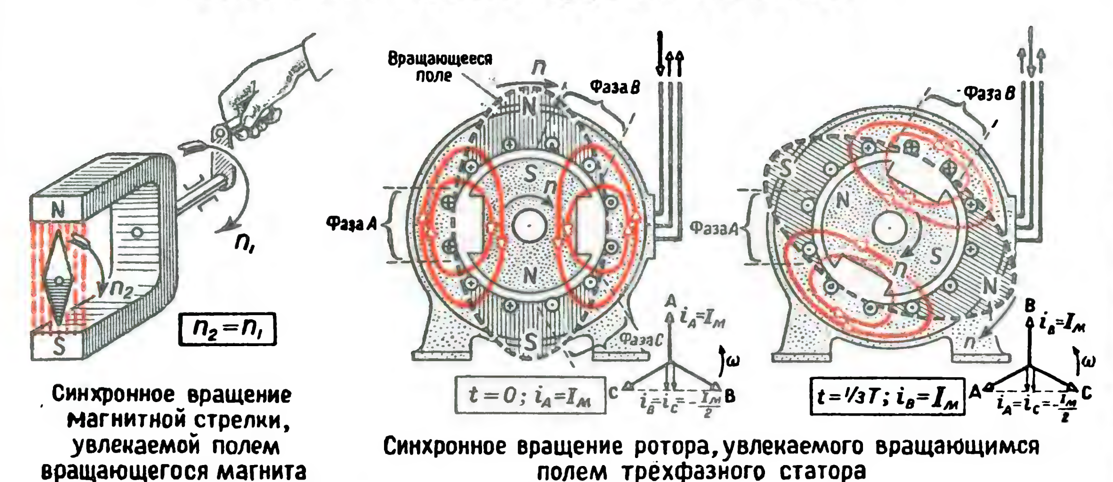


Изменение напряжения на синхронизирующих лампах

П.Ф.Скворцов

Худ. А.Меньшиков

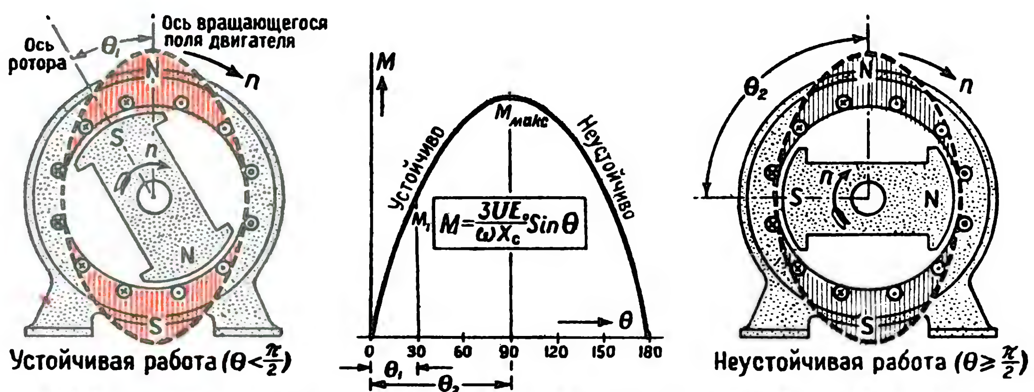
СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ



Синхронное вращение магнитной стрелки, увлекаемой полем вращающегося магнита

Синхронное вращение ротора, увлекаемого вращающимся полем трехфазного статора

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ



Устойчивая работа ($\theta<\frac{\pi}{2}$)

Неустойчивая работа ($\theta\geq\frac{\pi}{2}$)

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ПОЛОЖЕНИЕМ РОТОРА И ВРАЩАЮЩИМ МОМЕНТОМ ДВИГАТЕЛЯ

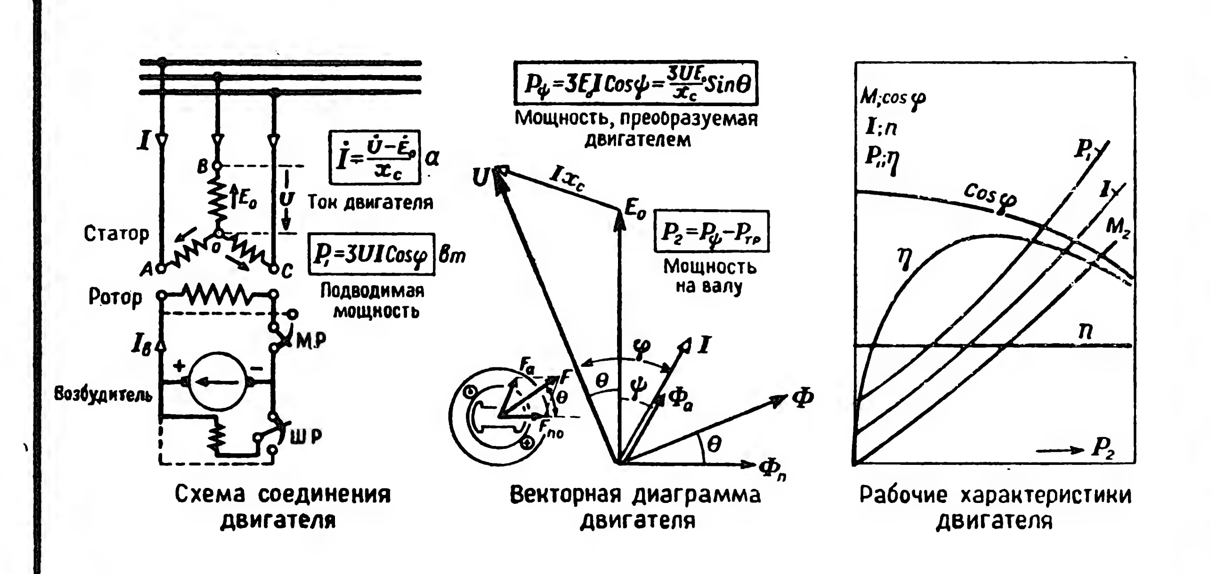


Схема соединения двигателя

Векторная диаграмма двигателя

Рабочие характеристики двигателя

П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

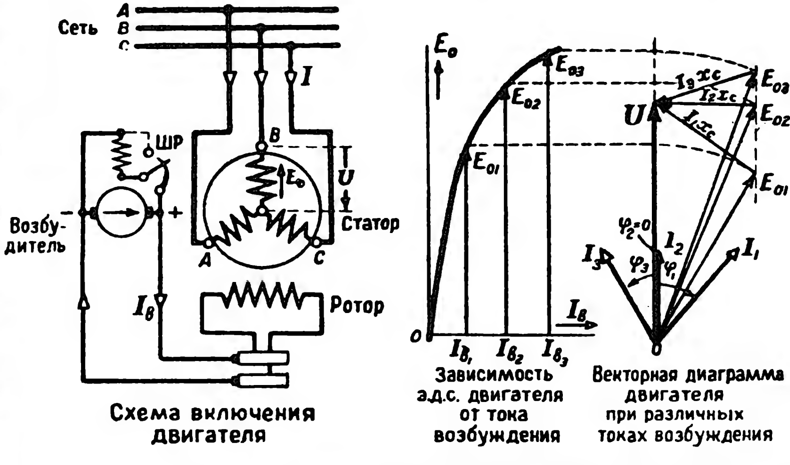
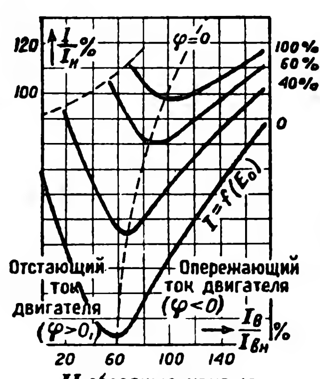


Схема включения двигателя

Зависимость э.д.с. двигателя от тока возбуждения

Векторная диаграмма двигателя при различных токах возбуждения



U-образные кривые изменения тока двигателя с изменением тока возбуждения при различных нагрузках

ВЛИЯНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ НА ТОК ДВИГАТЕЛЯ

Вращающееся магнитное поле статора

n_1 Фаза B, A B C, I, N, n_2, Ротор, Фаза A, Фаза C, S

Асинхронное вращение ротора при пуске

M, 2, 1, $M_{п2}$, $M_{п1}$, $M_{в2}$, $M_{в1}$, S, 1, 0,8, 0,6, 0,4, 0,2, 0

Пусковой ($M_п$) и входной ($M_в$) моменты двигателя при различных сопротивлениях пусковой обмотки ($R_1 < R_2$)

Вращающееся поле статора, n_1, N, B, $I_к$, $f = BI_к l$ дж, f, Пусковая-успокоительная обмотка (клетка), Ротор, n_2

Электромагнитные силы, действующие на ротор при пуске

МВ №1, МВ №2, Реактор, B, Статор, A, C, ШР, +, −, 3, $R_{инд}$, Ротор-индуктор, $R_{доб}$

Порядок пуска:

1. Замкнуть обмотку возбуждения на сопротивление $R_{доб} \approx (10 \div 15)\, R_{инд}$
2. Замкнуть масляный выключатель №2
3. По окончании разбега ротора ($n_2 \approx 0{,}95\, n_1$) подать ток возбуждения в ротор
4. Замкнуть масляный выключатель №1 и выключить м.в. №2

Схема пуска с помощью реактора

Автотрансформатор, B, Статор, A, C, ШР, Возбудитель, +, −, $R_{инд}$, Ротор-индуктор, $R_{доб}$

Схема пуска с помощью автотрансформатора

АСИНХРОННЫЙ ПУСК СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

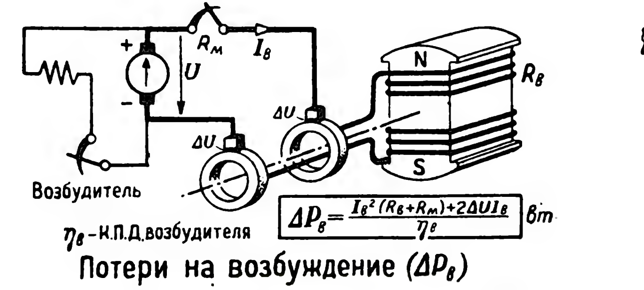
ПОТЕРИ И КПД СИНХРОННОЙ МАШИНЫ



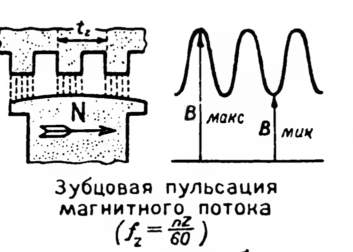
Потери в стали статора ($\Delta P_{ст}$)

Тепловые потери в обмотке статора ($\Delta P_м$)

Механические потери ($\Delta P_{мех}$)



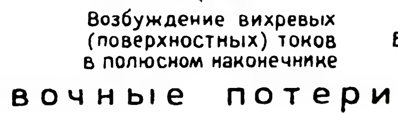
Потери на возбуждение ($\Delta P_в$)



Зубцовая пульсация магнитного потока ($f_z = \frac{nZ}{60}$)



Возбуждение вихревых (поверхностных) токов в полюсном наконечнике



Возбуждение вихревых токов в проводниках статора

Добавочные потери ($\Delta P_д$)

От первичного двигателя

$P_1 = \omega M$ Механическая мощность

$P_2 = \sqrt{3}UI\cos\varphi$ Электрическая мощность

V A

$\Delta P_м$ $\Delta P_{ст}$ $\Delta P_{мех}$ $\Delta P_в$ $\Delta P_д$

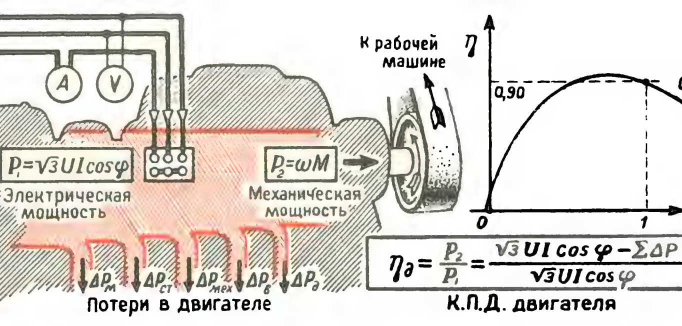
Потери в генераторе

η; 0,98; 0,90; При cos φ=1; Cos φ=0,8; 0; 1; P_2

$$\eta_г = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\sqrt{3}UI\cos\varphi}{\sqrt{3}UI\cos\varphi + \Sigma\Delta P}$$

К.П.Д. генератора

Энергетическая диаграмма генератора

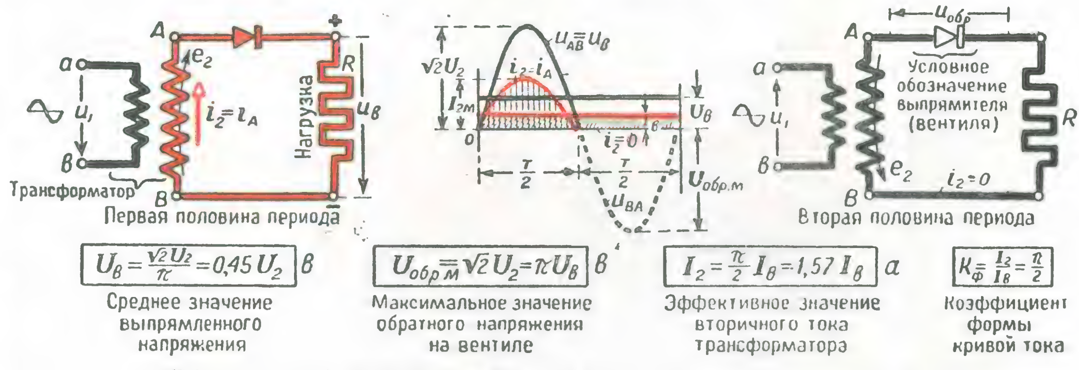


Энергетическая диаграмма двигателя

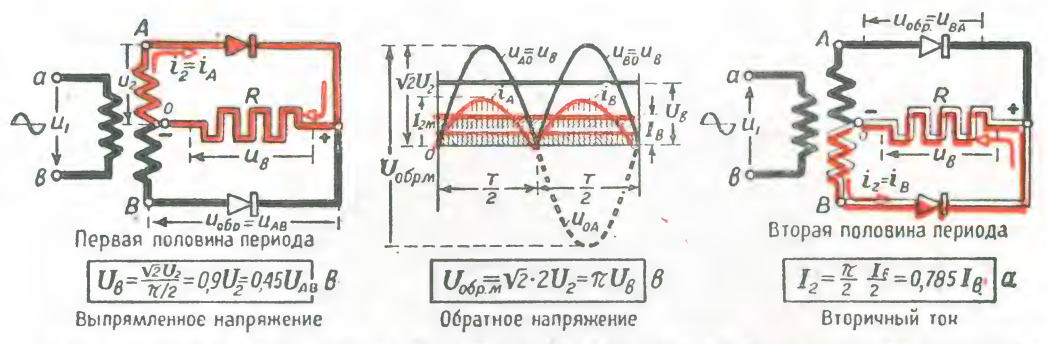
П.Ф. Скворцов

Худ. А. Меньшиков

ВЫПРЯМЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

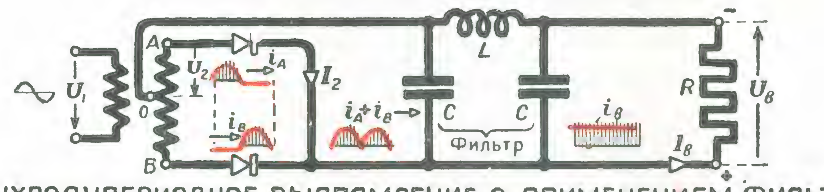


ОДНОПОЛУПЕРИОДНОЕ ВЫПРЯМЛЕНИЕ

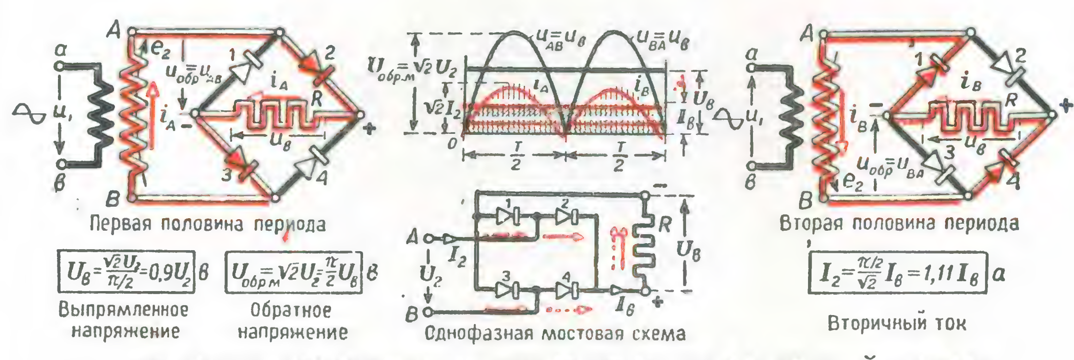


ДВУХПОЛУПЕРИОДНОЕ ВЫПРЯМЛЕНИЕ ПО СХЕМЕ С НУЛЕВЫМ ВЫВОДОМ

(предложено в 1901 году В.Ф. Миткевичем)



ДВУХПОЛУПЕРИОДНОЕ ВЫПРЯМЛЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФИЛЬТРА

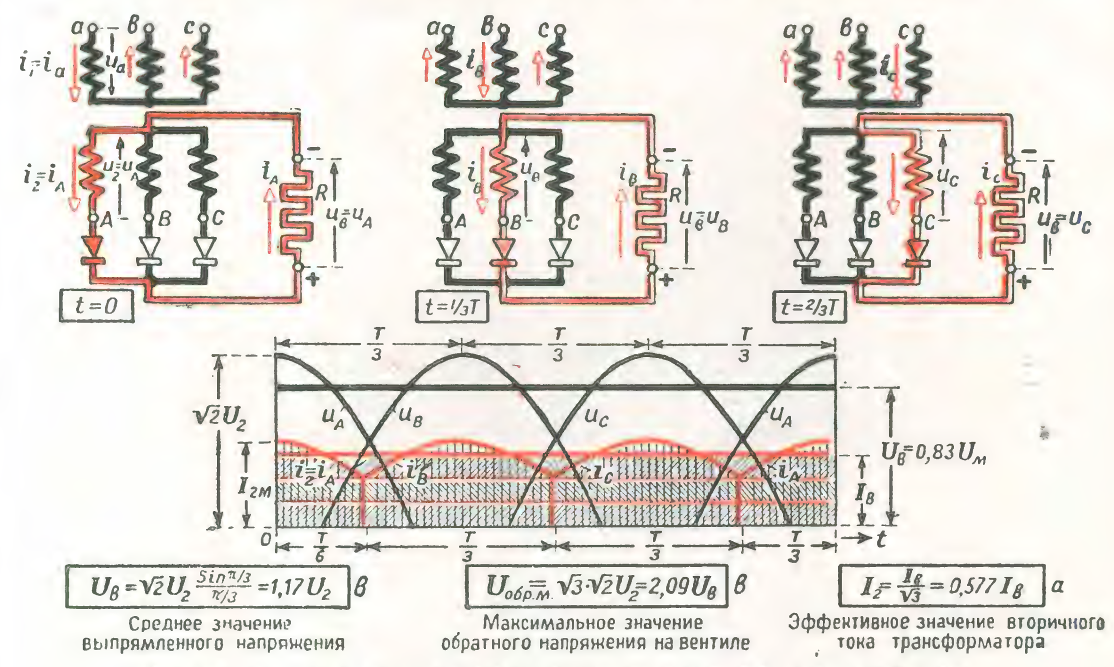


ДВУХПОЛУПЕРИОДНОЕ ВЫПРЯМЛЕНИЕ ПО МОСТОВОЙ СХЕМЕ

Э. И Расовский.

Худ. А. Меньшиков

ВЫПРЯМЛЕНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА



$U_в = \sqrt{2}U_2 \frac{\sin \pi/3}{\pi/3} = 1{,}17\,U_2$ в

Среднее значение выпрямленного напряжения

$U_{обр.м.} = \sqrt{3}\cdot\sqrt{2}U_2 = 2{,}09\,U_в$ в

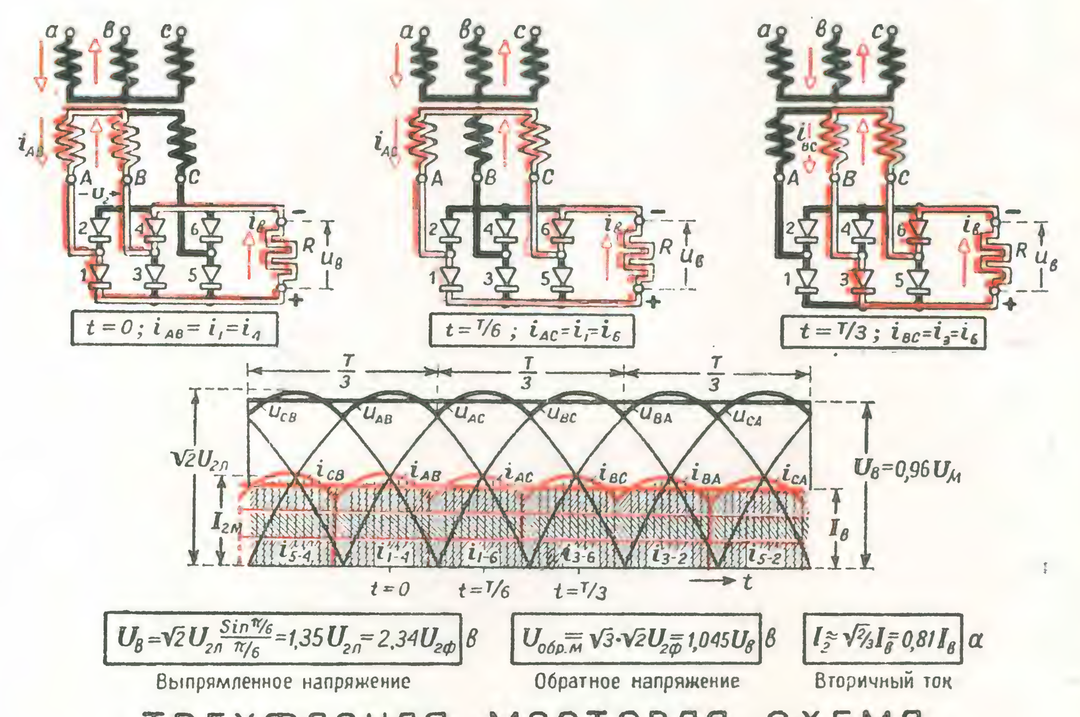
Максимальное значение обратного напряжения на вентиле

$I_2 = \frac{I_в}{\sqrt{3}} = 0{,}577\,I_в$ а

Эффективное значение вторичного тока трансформатора

ТРЕХФАЗНАЯ СХЕМА С НУЛЕВЫМ ВЫВОДОМ

(предложена в 1901 году В.Ф. Миткевичем)



$U_в = \sqrt{2}U_{2л} \frac{\sin \pi/6}{\pi/6} = 1{,}35\,U_{2л} = 2{,}34\,U_{2ф}$ в

Выпрямленное напряжение

$U_{обр.м} = \sqrt{3}\cdot\sqrt{2}U_{2ф} = 1{,}045\,U_в$ в

Обратное напряжение

$I_2 \approx \sqrt{2/3}\,I_в = 0{,}81\,I_в$ а

Вторичный ток

ТРЕХФАЗНАЯ МОСТОВАЯ СХЕМА

(предложена в 1923 году А.Н. Ларионовым)

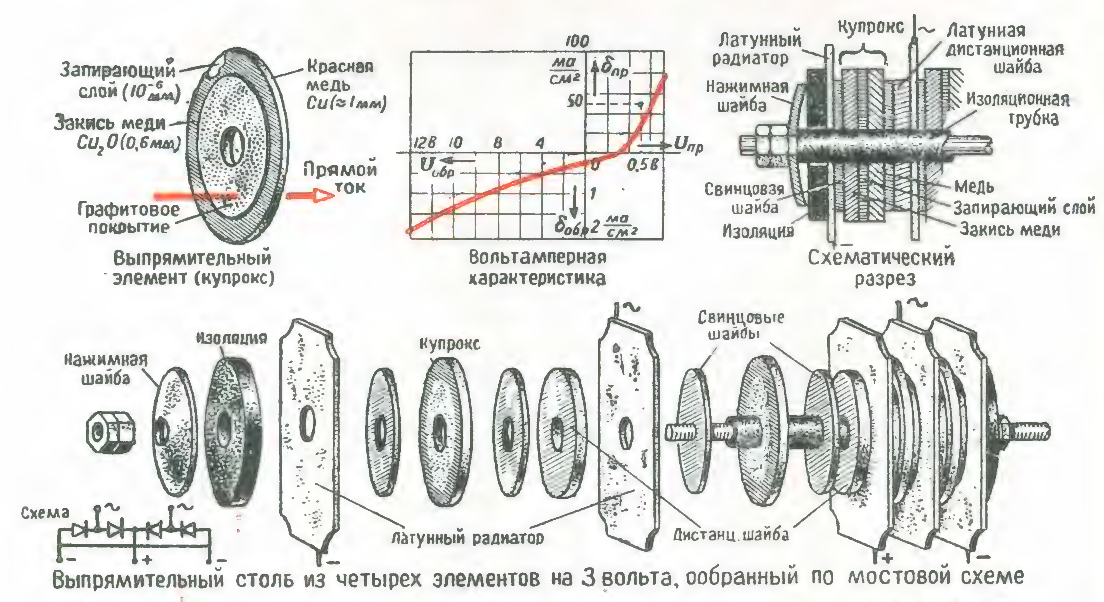
Э. И. Расовский.

Худ. А. Меньшиков

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

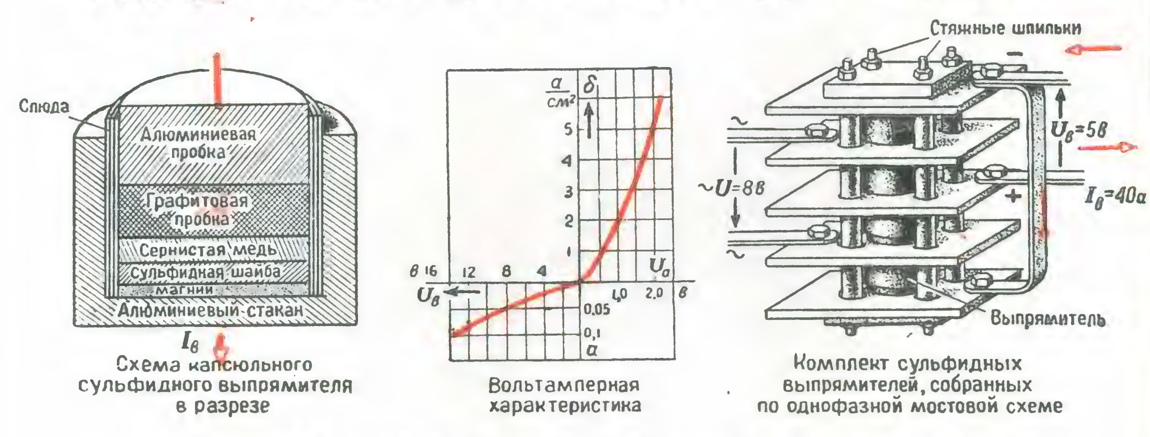


СХЕМА ДЕЙСТВИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО (ТВЕРДОГО) ВЫПРЯМИТЕЛЯ



Выпрямительный столб из четырех элементов на 3 вольта, собранный по мостовой схеме

МЕДНО-ЗАКИСНЫЕ (КУПРОКСНЫЕ) ВЫПРЯМИТЕЛИ



СЕРНИСТО-МЕДНЫЕ (СУЛЬФИДНЫЕ) ВЫПРЯМИТЕЛИ
(впервые разработан Б. В. Курчатовым в 1940 г)

Э. И. Расовский

Худ. А. Меньшиков

СЕЛЕНОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Никелированная сталь (анод - 1мм)
Селен (0,1мм)
Запирающий слой (10^{-6}мм)
Катодный сплав (0,01мм)
Прямой ток

Выпрямительная селеновая шайба

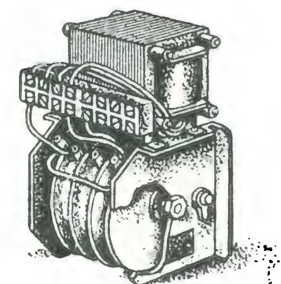
Вольтамперная характеристика селенового выпрямителя при 20°C

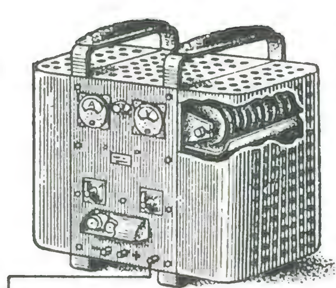
Селеновая шайба
Сталь (1мм)
Селен (0,1мм)
Латунный зажим
Изоляция
Изоляционная шайба
Пружинящая латунная шайба
Катодный сплав (0,01мм)
Запирающий слой (10^{-6}мм)

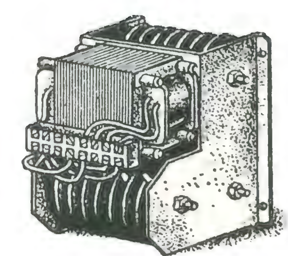
Схематический разрез выпрямительного элемента

схема
Нагрузка

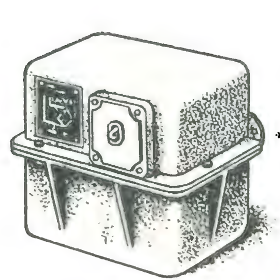
ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЙ СТОЛБ ИЗ ЧЕТЫРЕХ СЕЛЕНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
на 12 в, 3 а, собранный по мостовой схеме

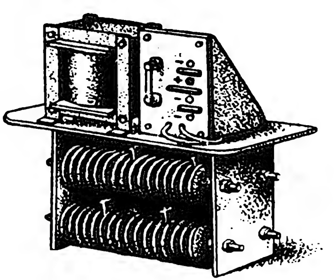

Выпрямитель типа СВ-12-3 (12 в, 3 а)


Выпрямитель типа ВСА-4 на 120, 240 в, 2 а

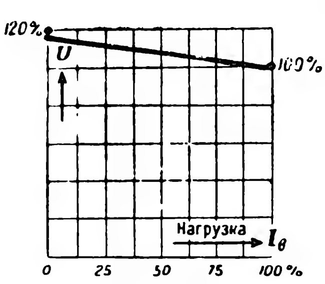

Выпрямитель типа СВ-24-9 (24 в, 9 а)

СЕЛЕНОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ


Общий вид


Выпрямитель без бака

СЕЛЕНОВЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ С МАСЛЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ
типа СВ-2 (110 в, 2 а)

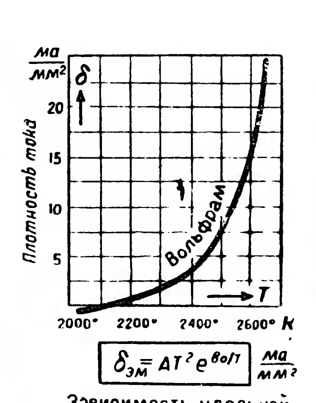


Зависимость выпрямленного напряжения от нагрузки

З И Расовский

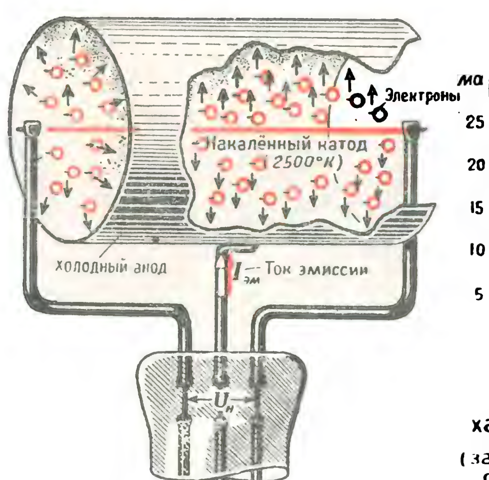
Худ А. Меньшиков

КАТОДЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

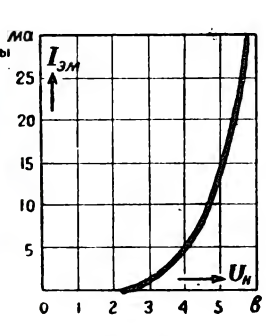


$\delta_{эм} = AT^2 e^{b_0/T}$ ма/мм²

Зависимость удельной эмиссии катода от абсолютной температуры

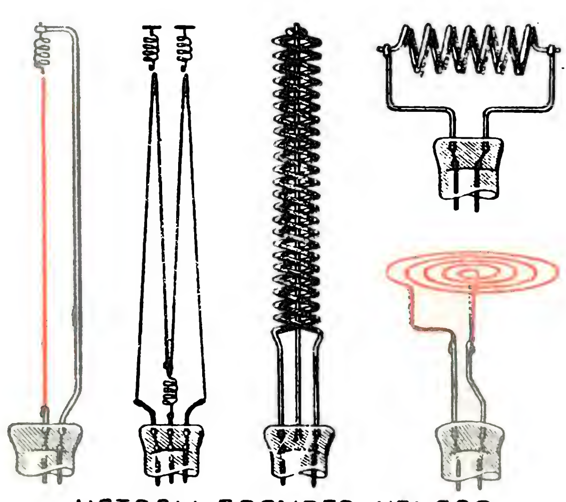


ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ КАТОДА

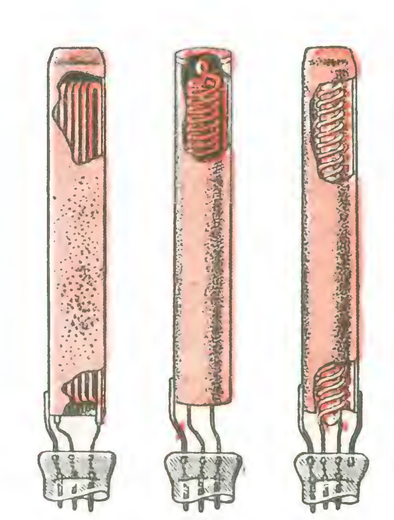


Эмиссионная характеристика катода

(зависимость тока эмиссии от напряжения накала)

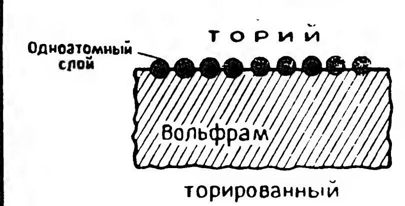


КАТОДЫ ПРЯМОГО НАКАЛА



ПОДОГРЕВНЫЕ КАТОДЫ

(впервые предложены академиком А. А. Чернышевым в 1918 г.)



торированный

БАРИЙ

Слой окислов

Металл

оксидный

БАРИЙ

Слой окислов меди и бария

Медь

Вольфрам

бариевый

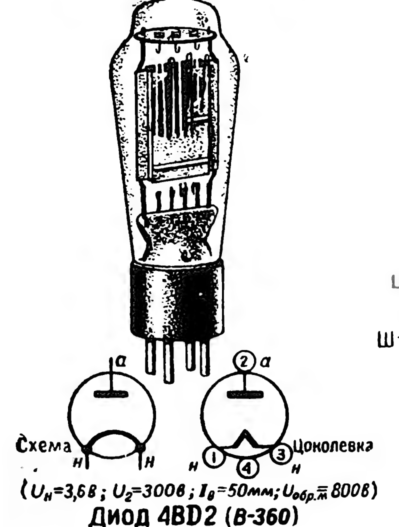
АКТИВИРОВАННЫЕ КАТОДЫ

(показано схематически)

Э. И. Расовский

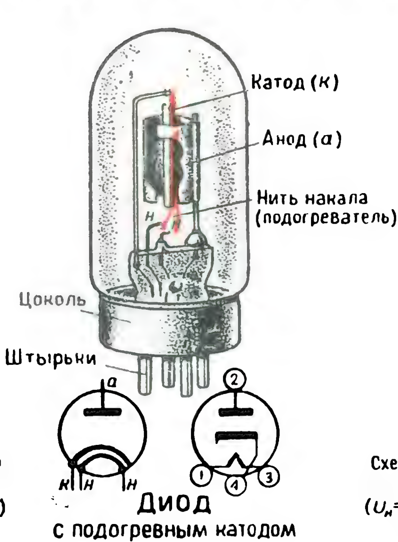
Худ. А. Меньшиков

ДВУХЭЛЕКТРОДНАЯ ЛАМПА (ДИОД)

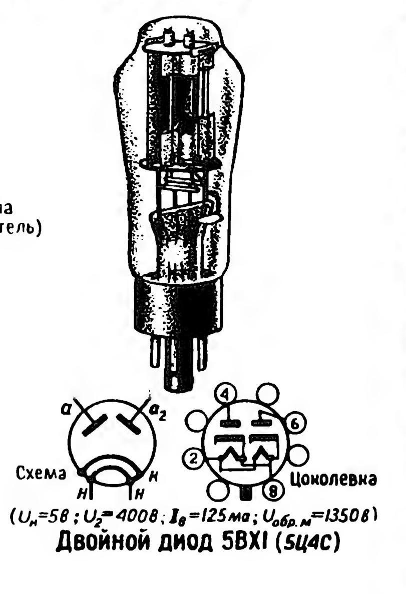


($U_н$=3,6в; U_2=300в; $I_в$=50мм; $U_{обр.m}$=800в)

Диод 4BD2 (B-360)

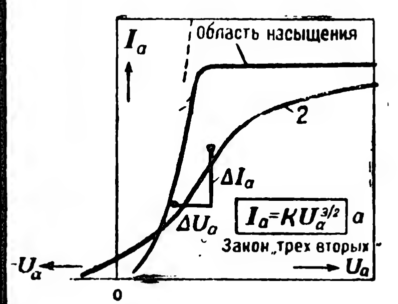


Диод
с подогревным катодом

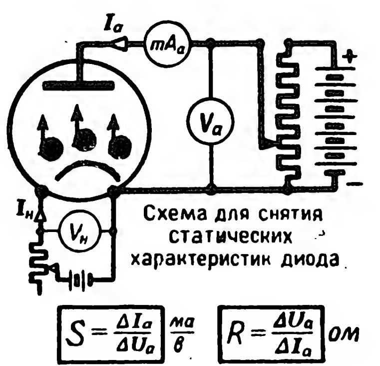


($U_н$=5в; U_2=400в; $I_в$=125ма; $U_{обр.м}$=1350в)

Двойной диод 5BXI (5Ц4С)



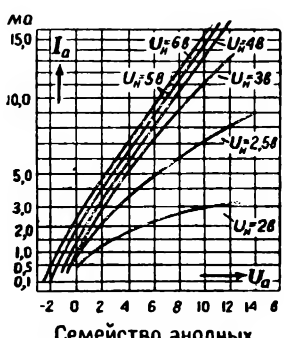
Теоретическая (1) и практическая (2) анодные характеристики диода



$S=\frac{\Delta I_a}{\Delta U_a}$ ма/в — Крутизна характеристики

$R=\frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$ ом — Внутреннее сопротивление

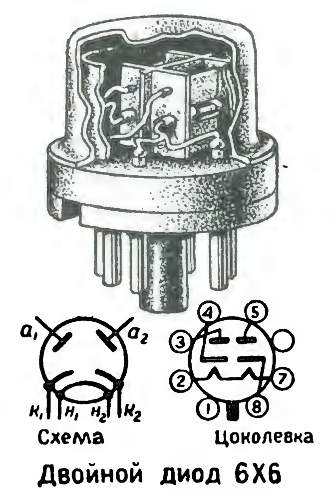
ПАРАМЕТРЫ ДИОДА



Семейство анодных характеристик диода при разных напряжениях накала



Анодная характеристика диода 6X6



Двойной диод 6X6

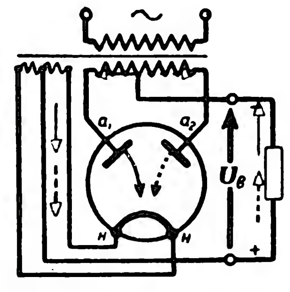
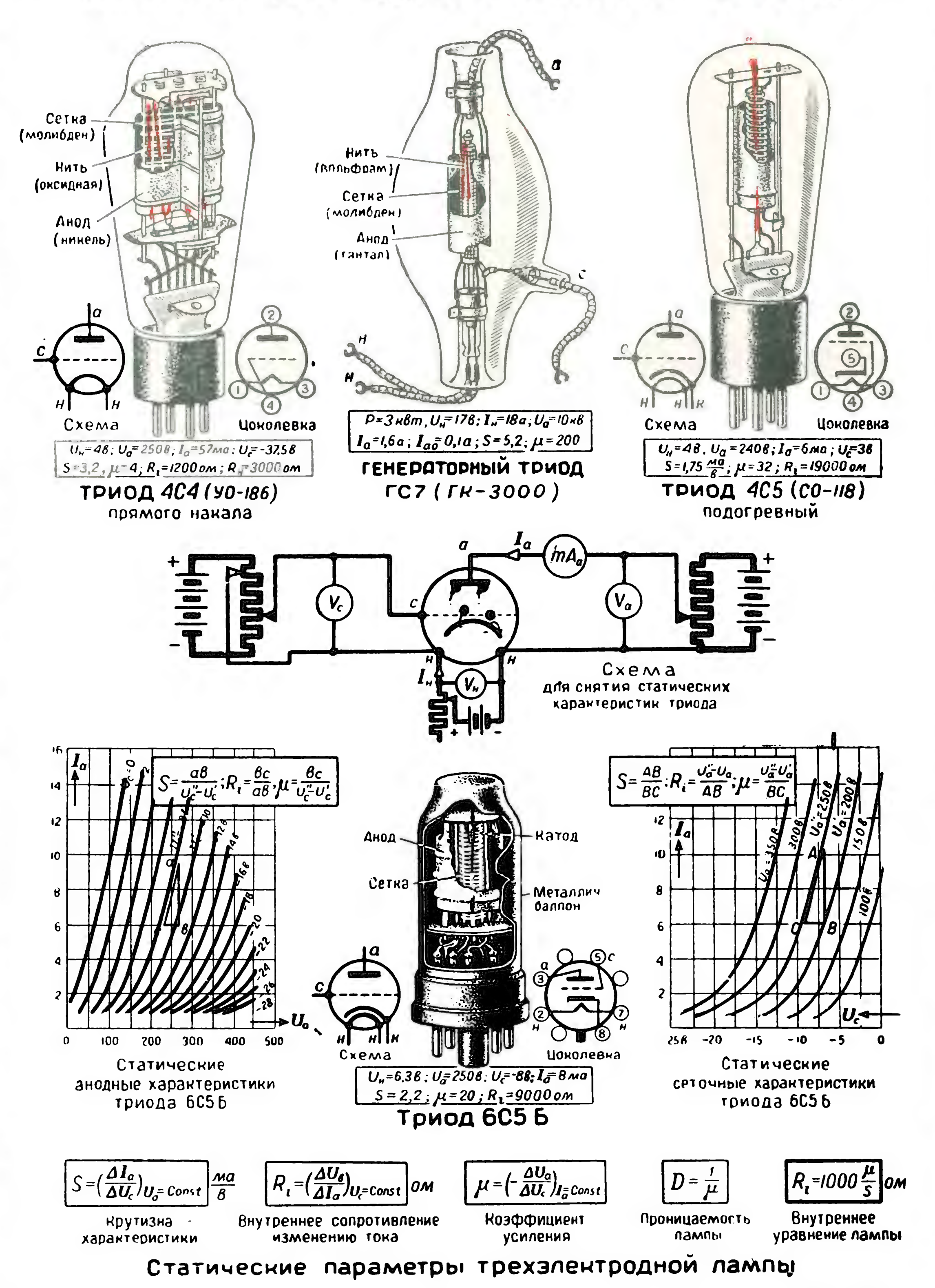


Схема двухполупериодного выпрямления при помощи двойного диода

Э И Расовский

Худ А Меньшиков

ТРЕХЭЛЕКТРОДНАЯ ЛАМПА (ТРИОД)



$$S=\left(\frac{\Delta I_a}{\Delta U_c}\right)_{U_a=Const}\ \frac{ма}{в}$$

Крутизна характеристики

$$R_i=\left(\frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}\right)_{U_c=Const}\ ом$$

Внутреннее сопротивление изменению тока

$$\mu=\left(-\frac{\Delta U_a}{\Delta U_c}\right)_{I_a=Const}$$

Коэффициент усиления

$$D=\frac{1}{\mu}$$

Проницаемость лампы

$$R_i=1000\frac{\mu}{S}\ ом$$

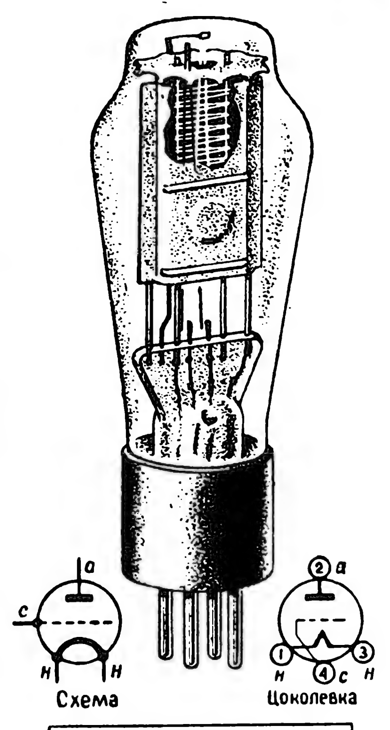
Внутреннее уравнение лампы

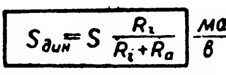
Статические параметры трехэлектродной лампы

Э И Расовский

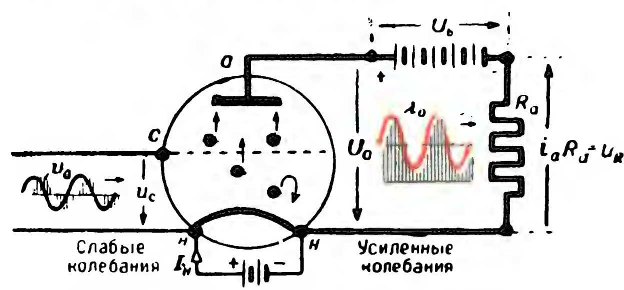
Худ А Меньшиков

ЛАМПОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

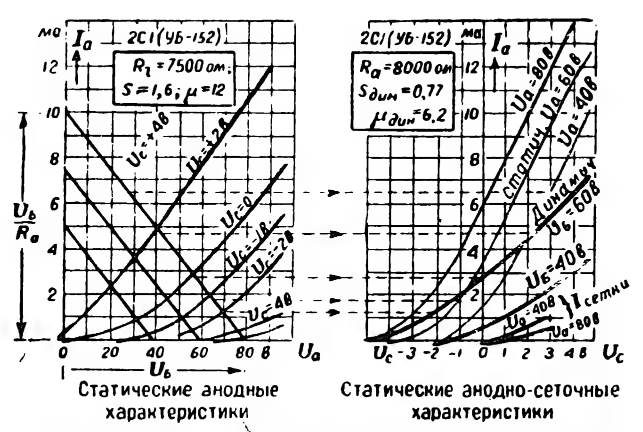




Триод 2С1 (УБ-152)



Работа трехэлектродной лампы в качестве простейшего усилителя



Статические анодные характеристики

Статические анодно-сеточные характеристики

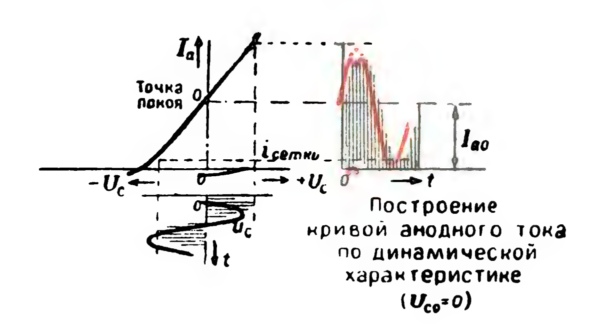
ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ АНОДНО-СЕТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРИОДА 2С1 (УБ-152)

$$S_{дин} = S \frac{R_i}{R_i + R_a} \quad \frac{ма}{в}$$

Крутизна динамической характеристики

$$\mu_{дин} = \mu \frac{R_a}{R_i + R_a}$$

Динамический коэффициент усиления



Построение кривой анодного тока по динамической характеристике (U_{co}=0)

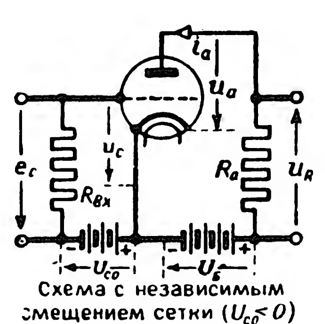
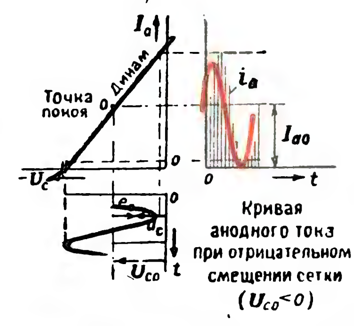


Схема с независимым смещением сетки (U_{co}<0)



Кривая анодного тока при отрицательном смещении сетки (U_{co}<0)

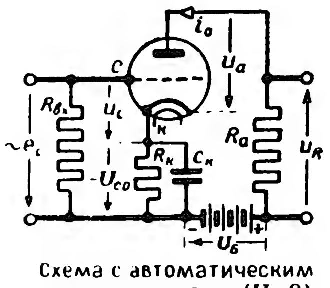
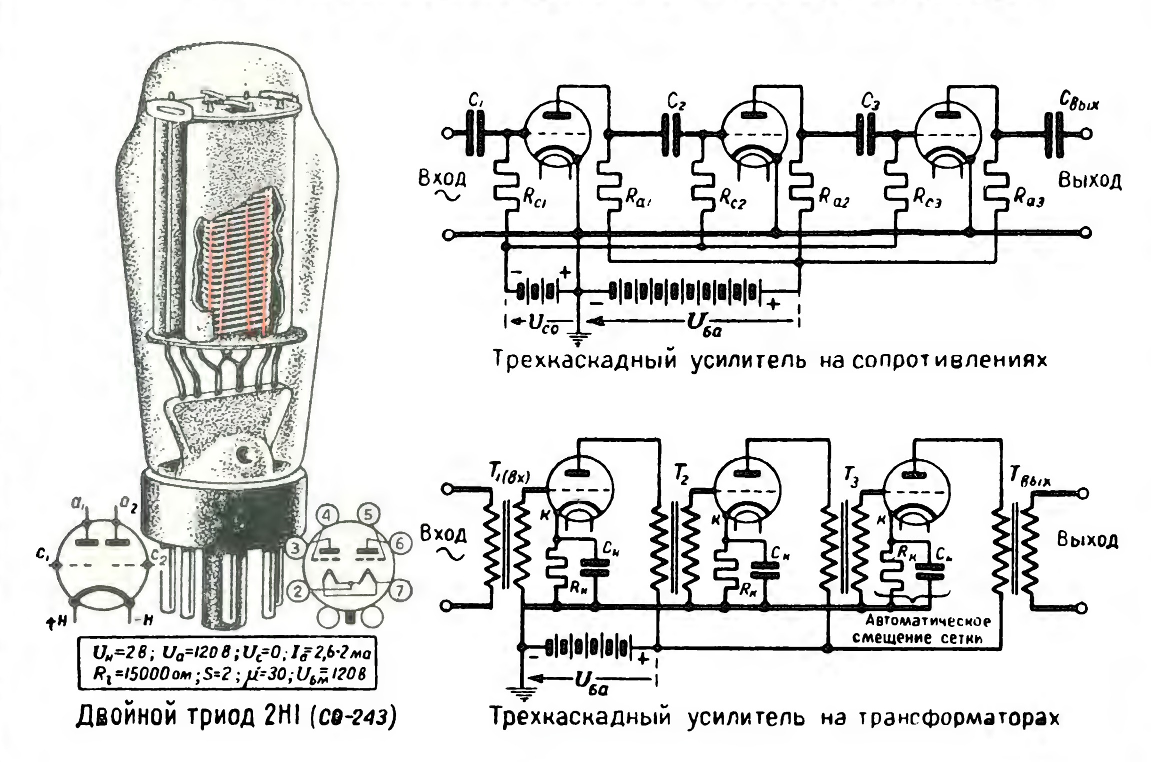


Схема с автоматическим смещением сетки (U_{co}<0)

Э. И Расовский

Худ А. Меньшиков

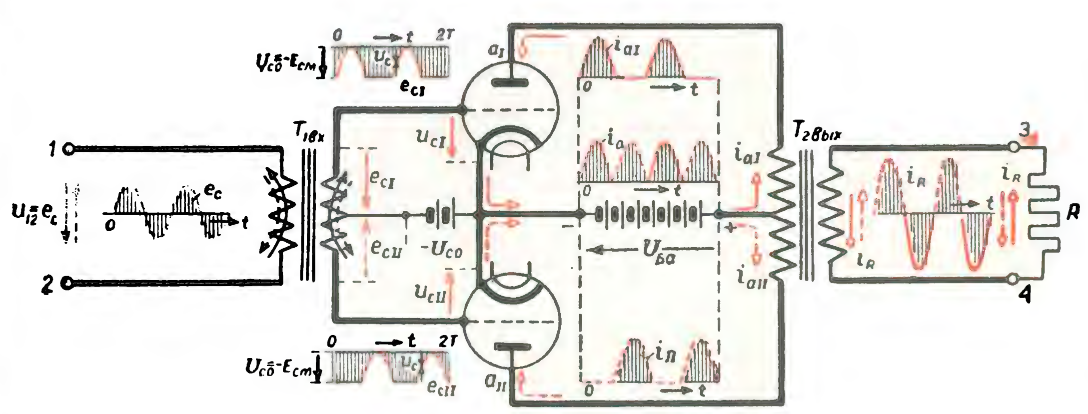
МНОГОКАСКАДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ



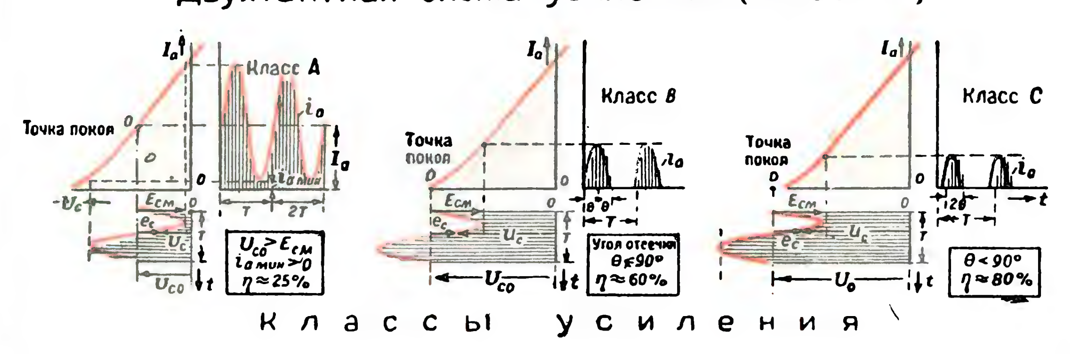
Двойной триод 2Н1 (СО-243)

Трехкаскадный усилитель на сопротивлениях

Трехкаскадный усилитель на трансформаторах



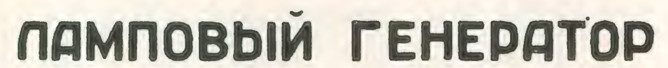
Двухтактная схема усиления (класс В)

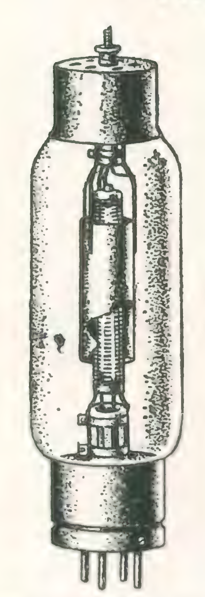


Классы усиления

Э. И. Расовский

Худ А. Меньшиков





$U_н$=17в; $I_н$=8,5а; $U_а$=3000в; $I_{эм}$ ≡ 1а
P=500вт; $\Delta P_а$=500вт; μ=100; S=4 $\frac{ма}{в}$

Генераторный триод
ГС (ГД400)

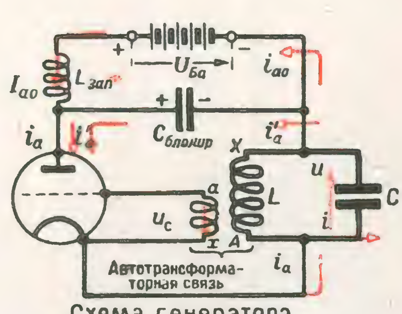
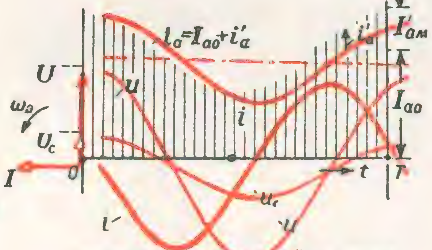
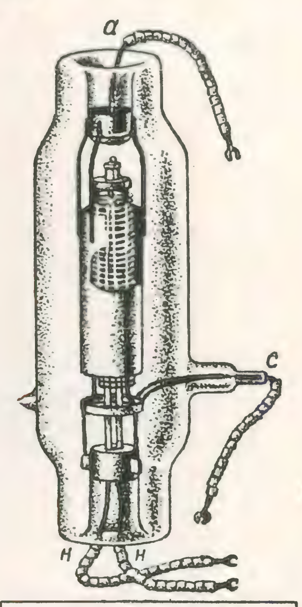


Схема генератора
с последовательным питанием



Кривые напряжений и токов



$U_н$=17в; $I_н$=8,5а; U_a=3000в; I_a=0,75а
P=500вт; ΔP_a=500вт; μ=95; S=3,5 $\frac{ма}{в}$; R_i=2700ом

Генераторный триод
ГС (БК-500)

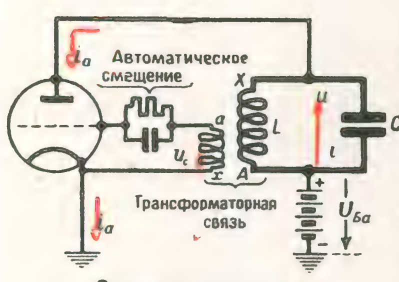
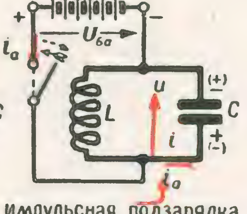
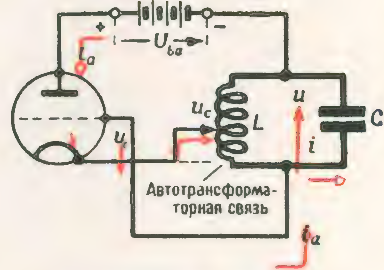


Схема генератора
с последовательным питанием
и заземлением



Импульсная подзарядка
конденсатора
включением рубильника
в такт колебаниям
контура



Трехточечная схема
с последовательным питанием

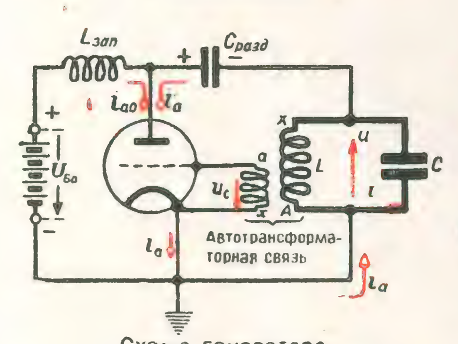
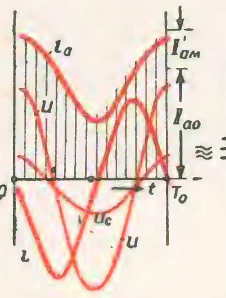
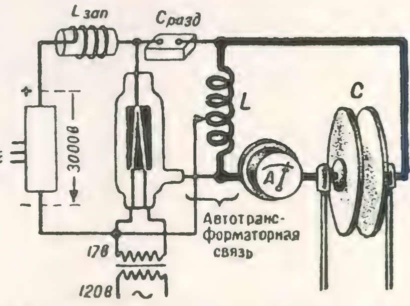


Схема генератора
с параллельным питанием



Кривые



Трехточечная схема генератора
с параллельным питанием
(демонстрационная установка)

Э. И. Расовский

Худ. А. Меньшиков



Тр-р накала

Автоматическое смещение сетки

C

R

A

$U_a = 15$ кв

Выпрямитель

Конденсатор контура

Закаливаемый предмет

Воздушный трансформатор

$L_{зап}$

Запирающий дроссель

C_p

Разделительный конденсатор

Генераторный триод ГС5 В

$P = 110$ квт;
$U_a = 15$ кв; $I_a = 50$ а;
$\Delta P_a = 60$ квт;
$U_н = 33$ в; $I_н = 210$ а,
$S = 7$, $\mu = 44$

$U = 15$ кв

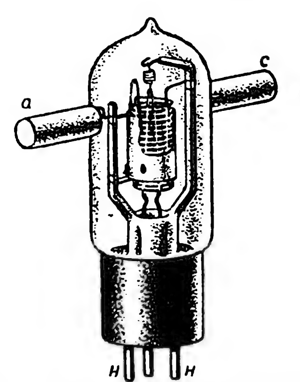
$L_{зап}$

$C_{разд.}$

Принципиальная схема

Развернутая схема генератора для высокочастотной закалки

Охл вода



$U_н = 7$ в; $U_a = 700$ в; $U_c = -60$ в; $I_{эм} = 100$ ма
$P = 10$ вт, $P_{ам} = 35$ вт, $f_{макс} = 85$ мгги, $\lambda_{мин} = 2{,}5$ м

Генераторный триод ГУС2 (ГУ-4) для ультракоротких волн (2-10 м)

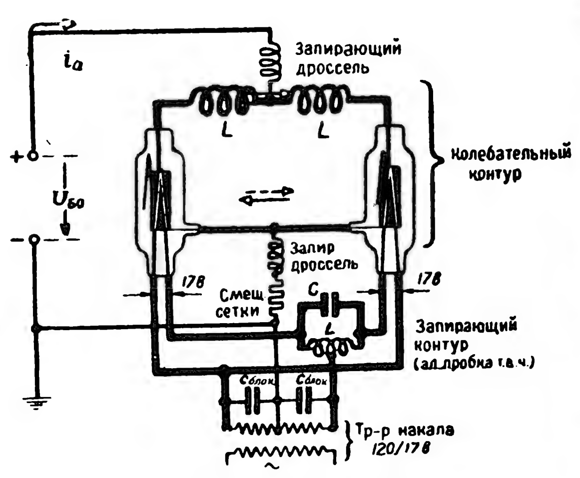
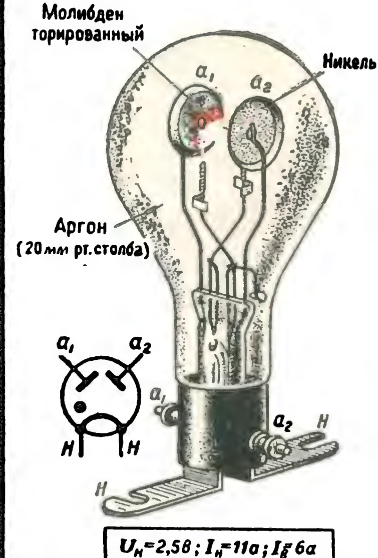


Схема двухтактного генератора
на 1 квт, 50 мггц (6 м)
(демонстрационная установка)

Э. И. Расовский

Худ. А. Меньшиков

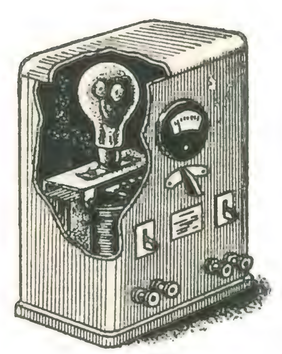
ГАЗОТРОН



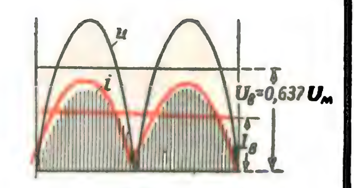
$U_н=2{,}5в$; $I_н=11а$; $I_в=6а$
$\Delta U=14в$; $U_{обр}=150в$; $T_{разогр}=0{,}5мин$

Газотрон ВГ-4 (тунгар)

Схема двухполупериодного выпрямления с выводом нуля

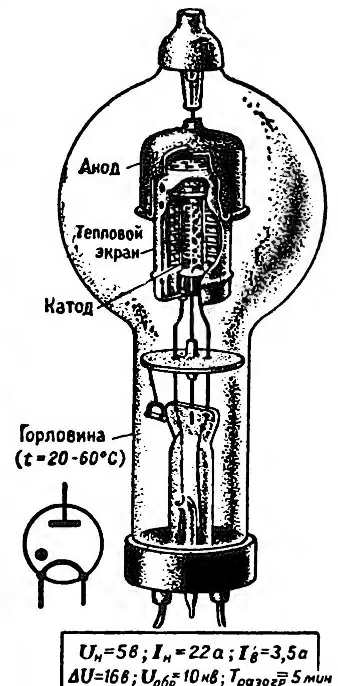


Общий вид



Кривые выпрямленного напряжения и тока

Выпрямитель типа ВГ-1-6 на 6-12-24 в, 6 а



$U_н=5в$; $I_н=22а$; $I_в=3{,}5а$
$\Delta U=16в$; $U_{обр}=10кв$; $T_{разогр}=5мин$

Газотрон ВГ-7 (закрытой конструкции)

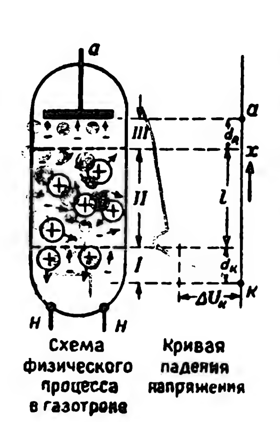
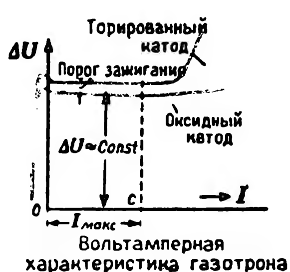
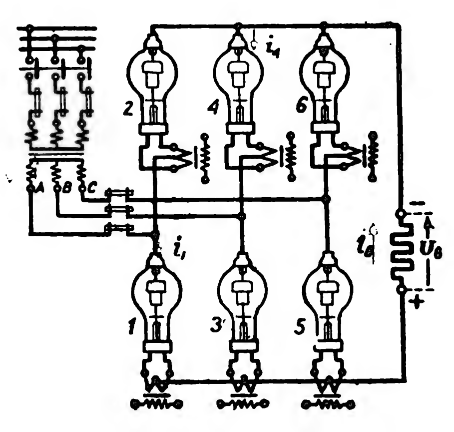


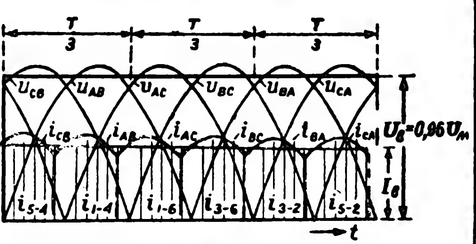
Схема физического процесса в газотроне

Кривая падения напряжения



Вольтамперная характеристика газотрона



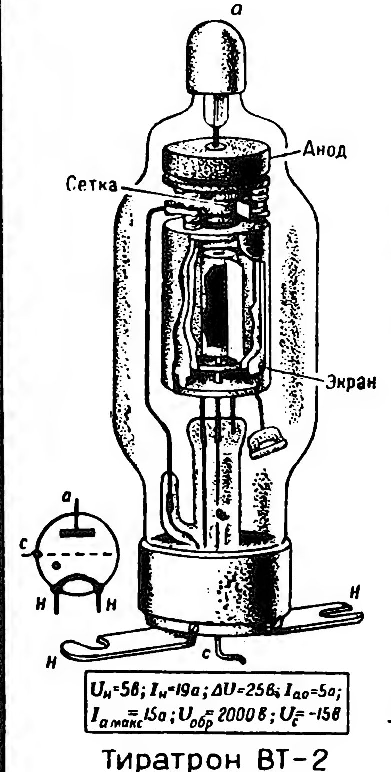


Выпрямление трехфазного тока на газотронах по мостовой схеме

Э. И. Расовский

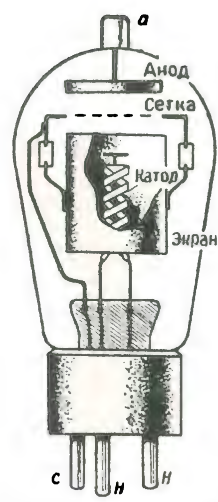
Худ А Меньшиков

ТИРАТРОН

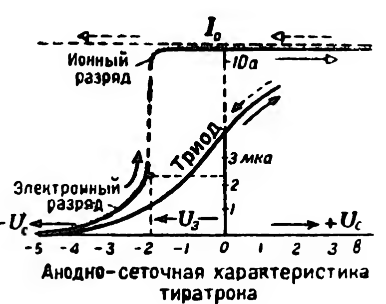


Тиратрон ВТ-2
(ТГ-15/2000)

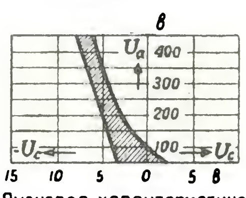
Схема для снятия характеристики тиратрона



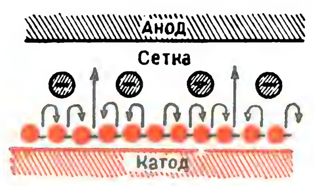
Схематическое устройство тиратрона



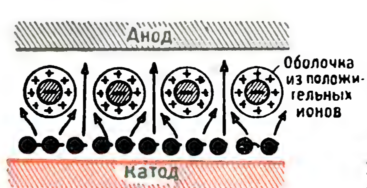
Анодно-сеточная характеристика тиратрона



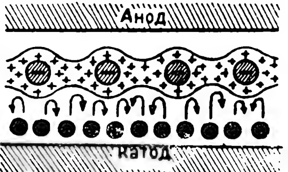
Пусковая характеристика (область) тиратрона



Электронный разряд (сетка регулирует ток)

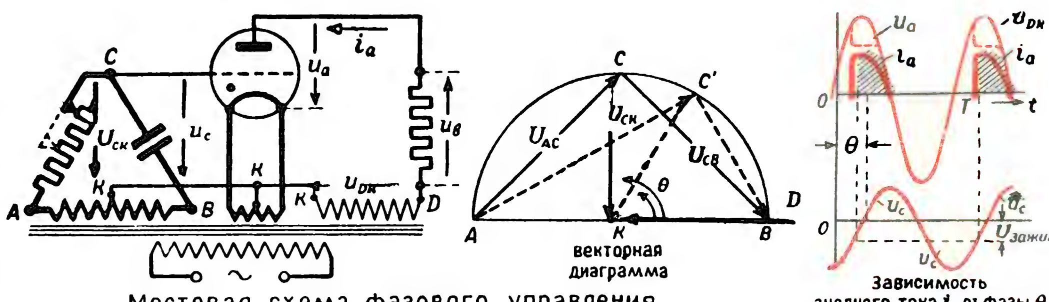


Ионный разряд (заряд сетки скомпенсирован)



Прекращение разряда (сетка „запирает" разряд)

Схема действия сетки в тиратроне



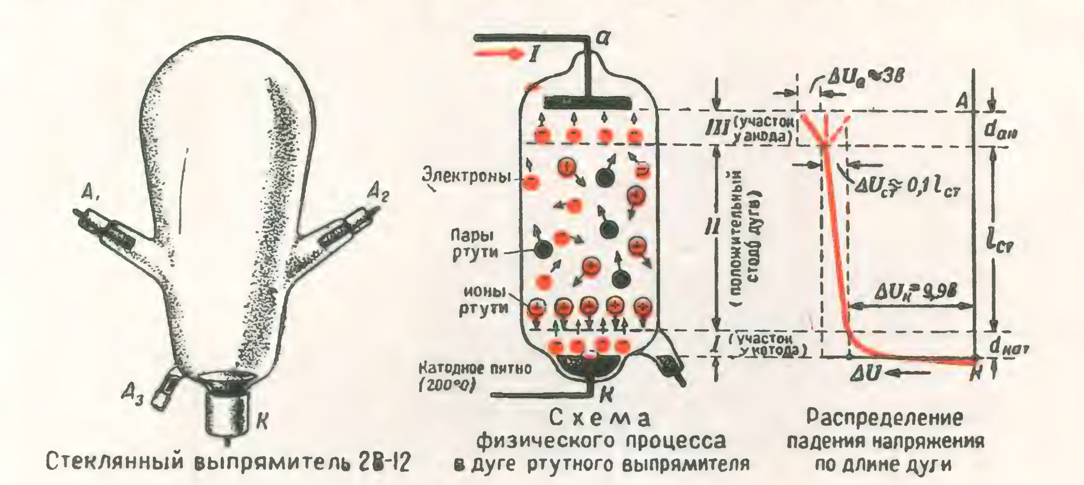
Мостовая схема фазового управления выпрямленным током i_a в тиратроне

Зависимость анодного тока i_a от фазы θ сеточного напряжения

Э. И. Расовский

Худ. А. Меньшиков

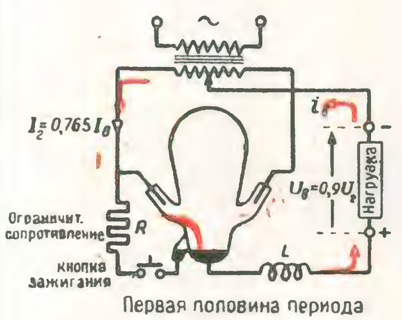
ОДНОФАЗНЫЙ РТУТНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ



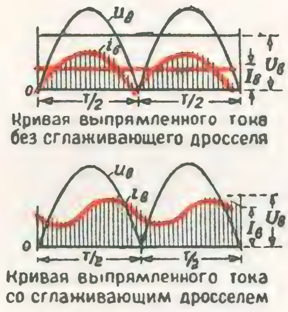
Стеклянный выпрямитель 2В-12

Схема физического процесса в дуге ртутного выпрямителя

Распределение падения напряжения по длине дуги

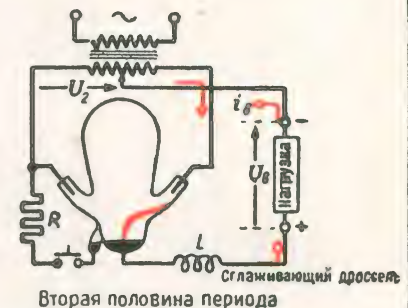


Первая половина периода



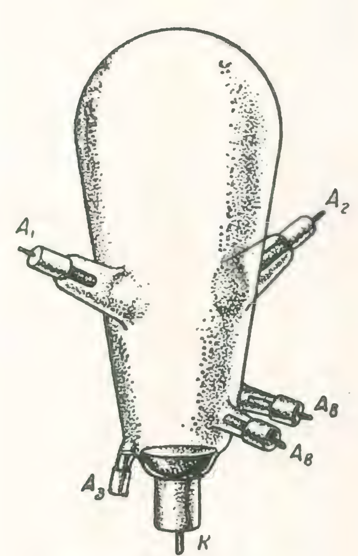
Кривая выпрямленного тока без сглаживающего дросселя

Кривая выпрямленного тока со сглаживающим дросселем



Вторая половина периода

Схема двухполупериодного выпрямления



Выпрямитель 2ВН-12

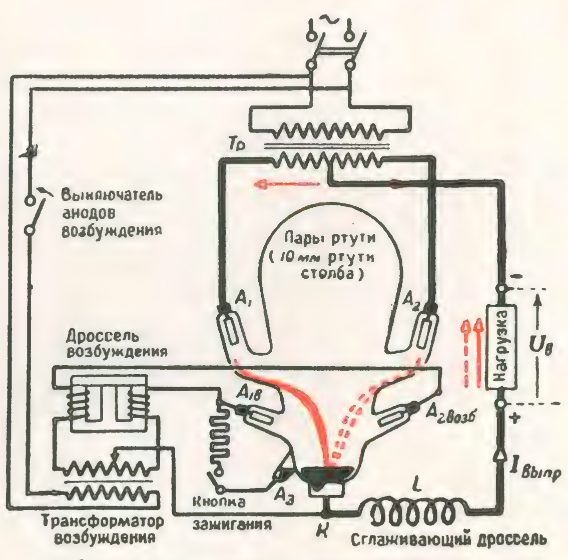
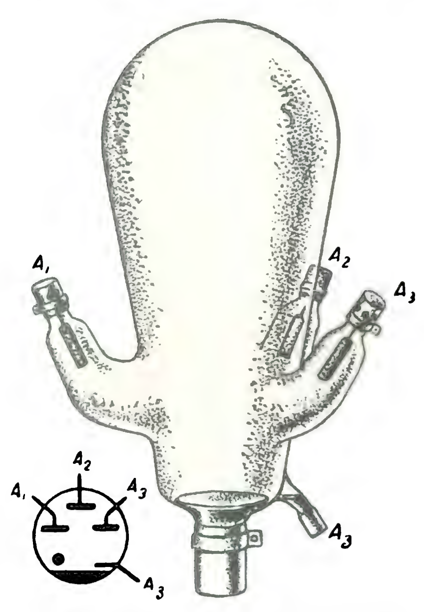


Схема соединения выпрямителя со вспомогательными анодами возбуждения

З. И. Расовский

Худ. А. Мендишкев

ТРЕХФАЗНЫЙ РТУТНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ



Стеклянный выпрямитель ЗВ-30

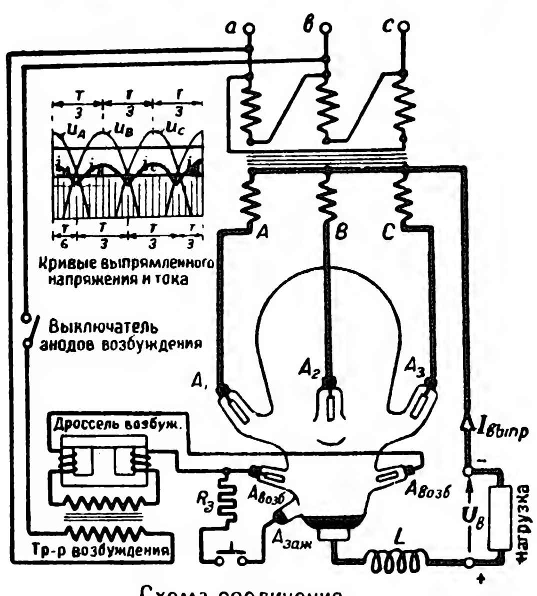


Схема соединения трехфазного выпрямителя с анодами возбуждения



Общий вид

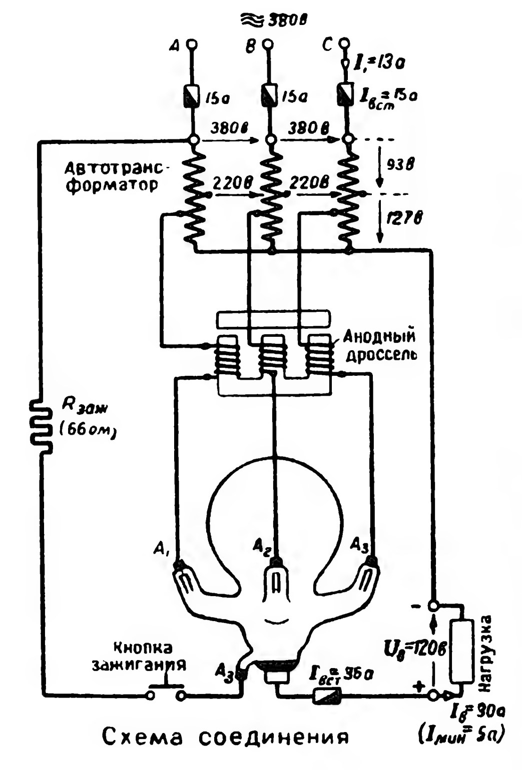


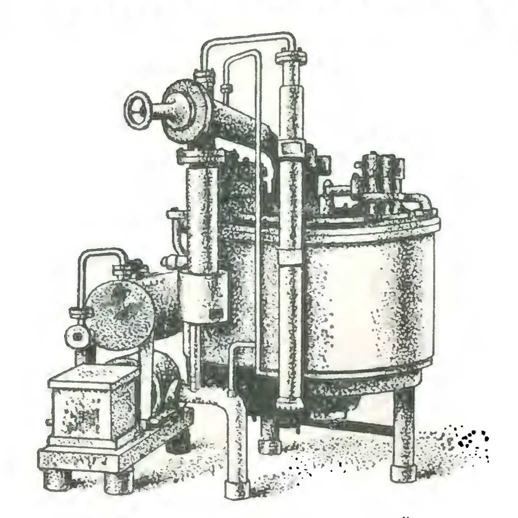
Схема соединения

Трехфазный выпрямитель ВАР-14
со стеклянной колбой ЗВ-30

Э И Расовский

Худ. А.Менощиков

МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ РТУТНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ



Шестианодный металлический выпрямитель РМНВ-1000

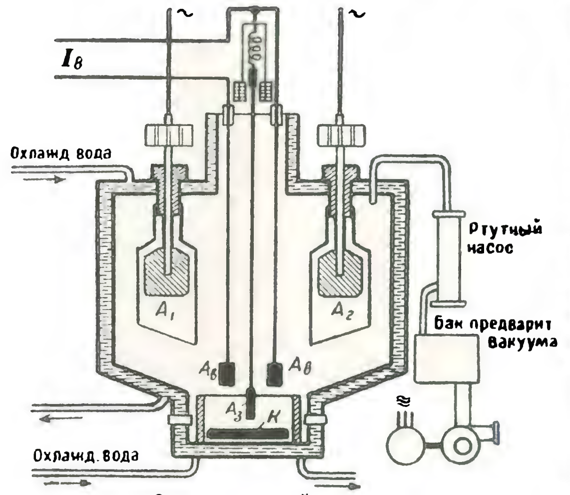
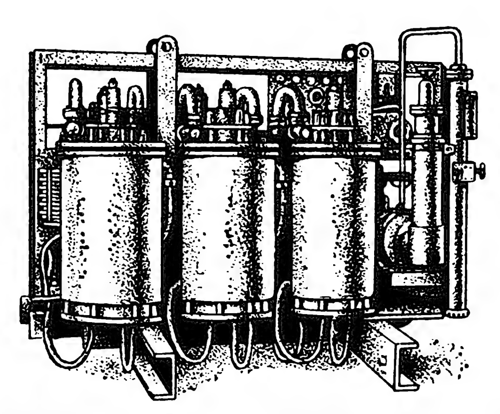


Схема устройства металлического выпрямителя



Шестицилиндровый выпрямитель РМНВ-500Х6

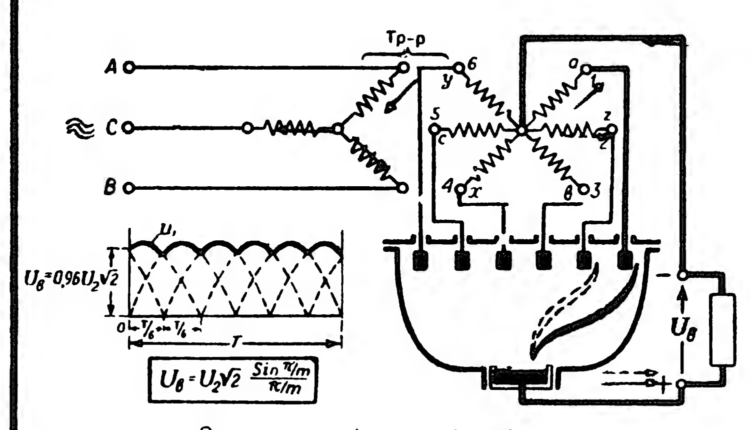
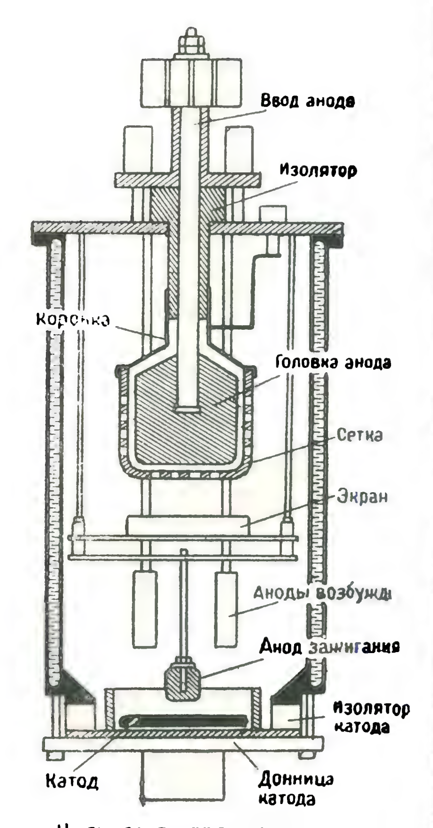


Схема шестифазного ($m=6$) выпрямителя



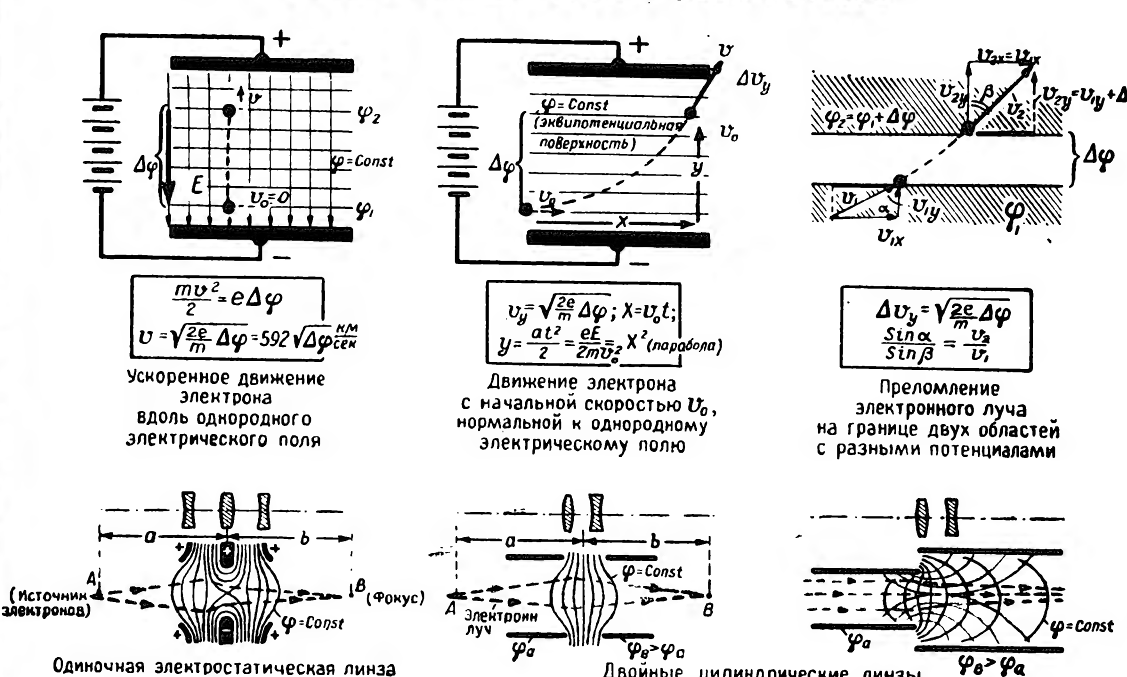
Цилиндр выпрямителя РМНВ-500

(Схематический разрез)

Э. И. Расовский

Худ. А. Меньшиков

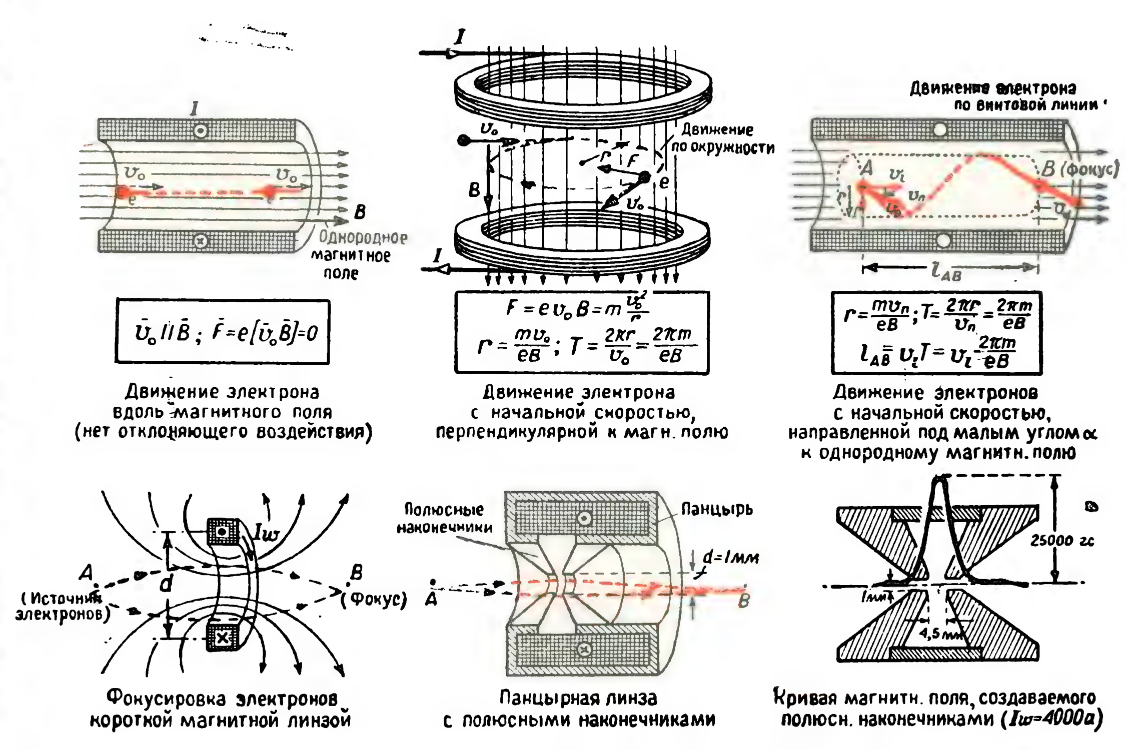




Одиночная электростатическая линза и ее оптическая аналогия

Двойные цилиндрические линзы и их оптическая аналогия

ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ



ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Э.И. Расовский.

Худ А. Меньшиков

ФОТОЭЛЕМЕНТ



Вольтамперная характеристика вакуумного фотоэлемента

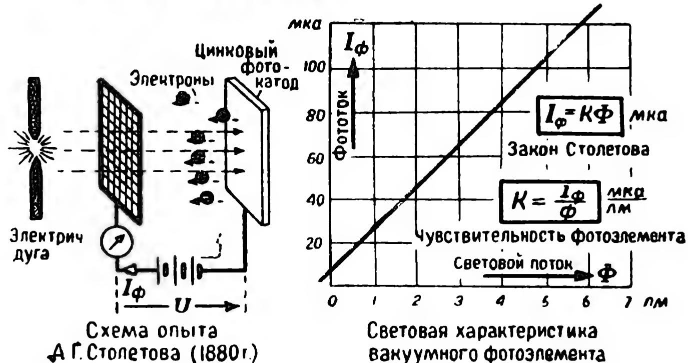
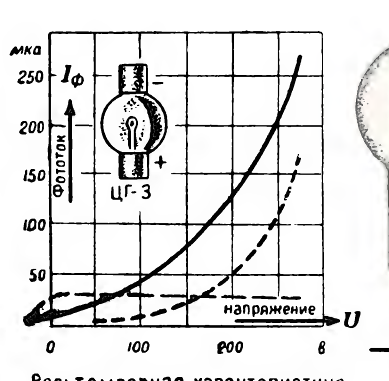


Схема опыта А. Г. Столетова (1880 г.)

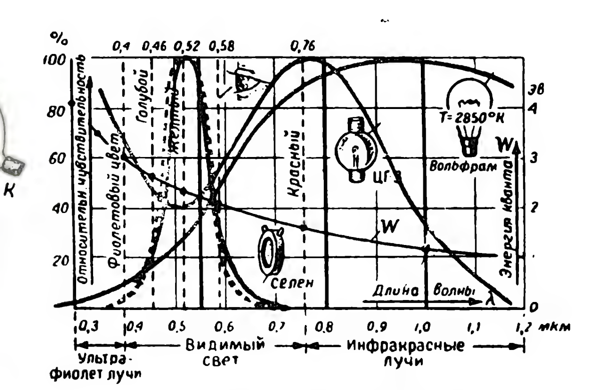
Световая характеристика вакуумного фотоэлемента



Вольтамперная характеристика газонаполненного фотоэлемента ЦГ 3

К

Фотоэлемент ЦГ-1



Спектральные характеристики цезиевого и селенового фотоэлементов, глаза и вольфрамовой нити при $T=2850°K$

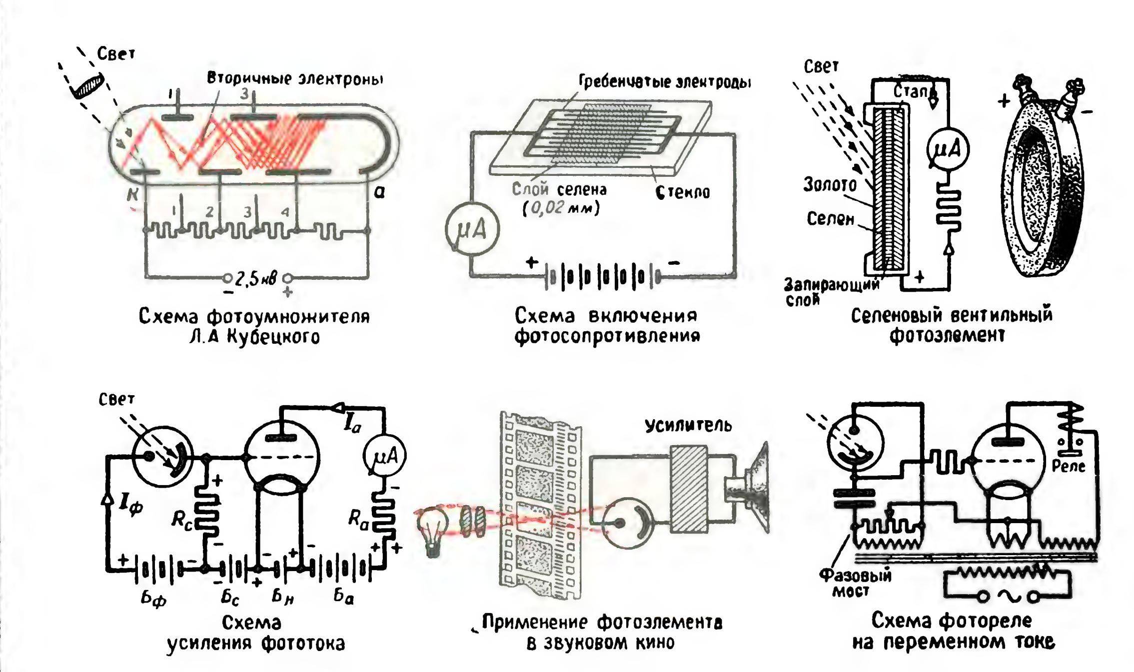


Схема фотоумножителя Л. А. Кубецкого

Схема включения фотосопротивления

Селеновый вентильный фотоэлемент

Схема усиления фототока

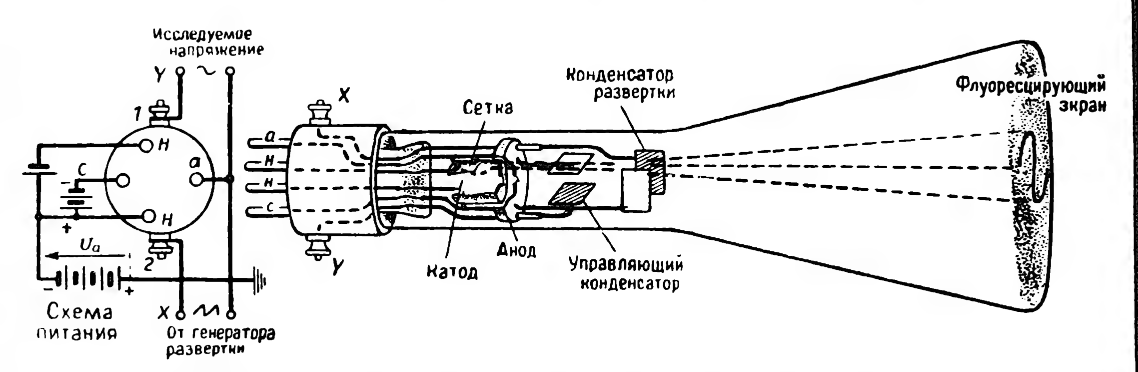
Применение фотоэлемента в звуковом кино

Схема фотореле на переменном токе

Э. И. Расовский

Худ. А. Меньшиков

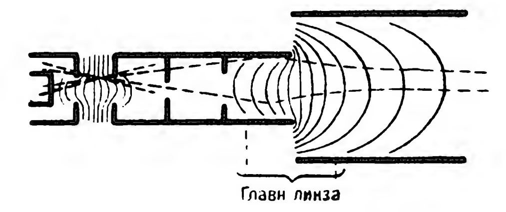
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА



Электронно-лучевая трубка КОП-4



Трубка с электростатическим управлением типа ВЛ02В



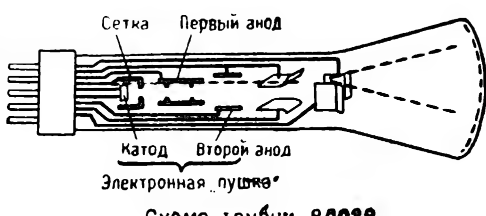


Схема трубки ВЛ02В

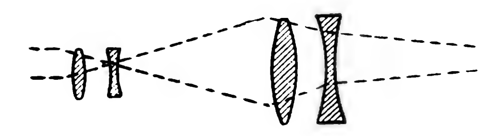
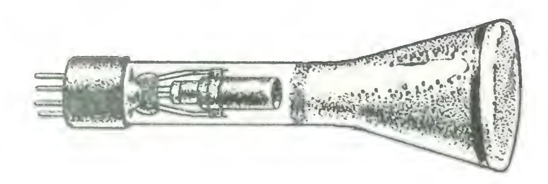


Схема устройства электронной „пушки" и ее оптическая аналогия



Трубка с магнитным управлением

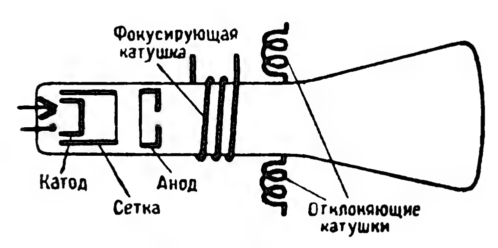


Схема трубки с магнитным управлением

Э. И. Расовский

Худ А. Меньшиков

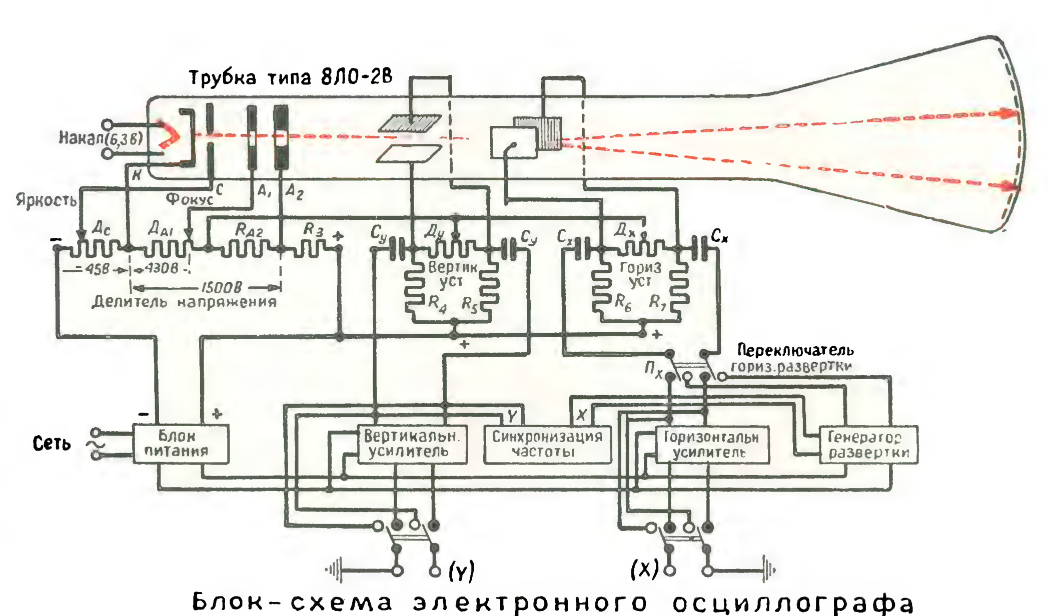
ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Простейшая схема осциллографа

Синхронизация частоты генератора развертки (пилообразного напряжения U_x) и частоты y исследуемых сигналов U_y

Простейшая схема генератора пилообразного напряжения с тиратроном

Электронный (катодный) осциллограф ЭО-5

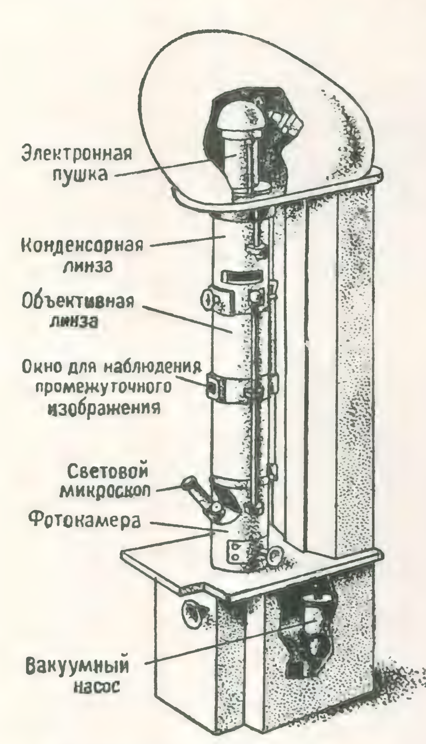


Блок-схема электронного осциллографа

Э. И. Расовский

Худ. А. Меньшиков

ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП



Схематический рисунок магнитного электронного микроскопа ГОИ на 50 кв (сконструирован акад. А.А.Лебедевым, В.Н.Верцнером и И.Г.Зандиным)

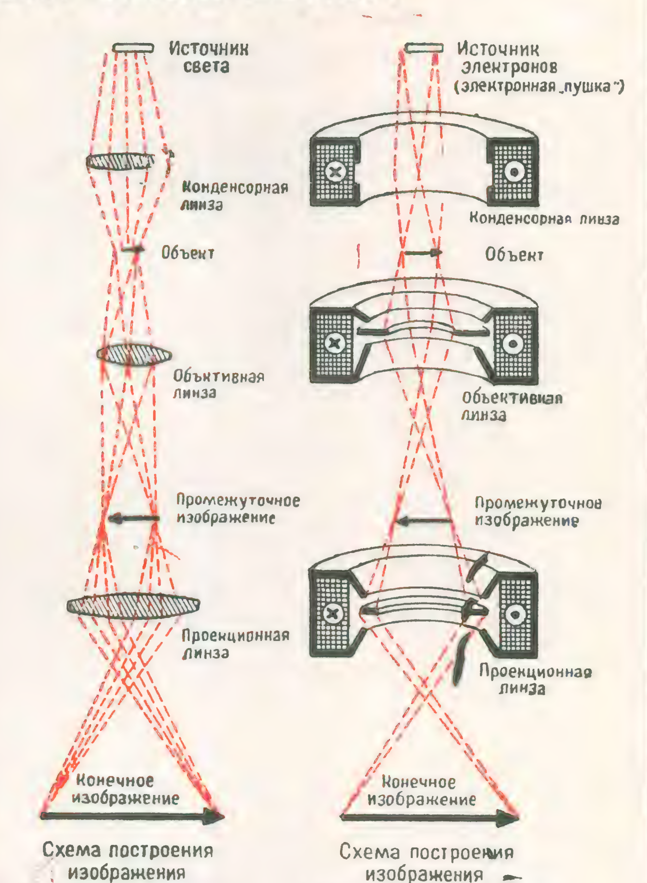
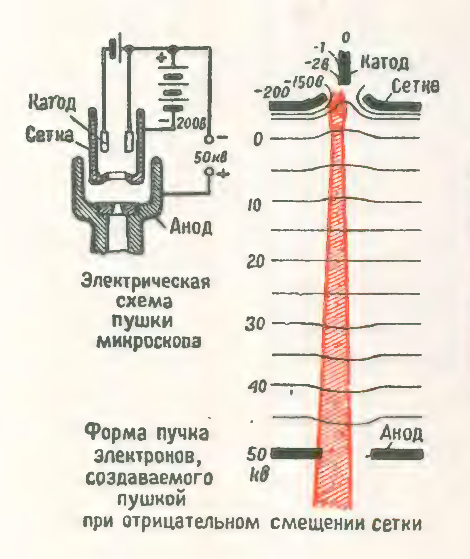


Схема построения изображения в световом микроскопе

Схема построения изображения в электронном микроскопе



Электрическая схема пушки микроскопа

Форма пучка электронов, создаваемого пушкой при отрицательном смещении сетки



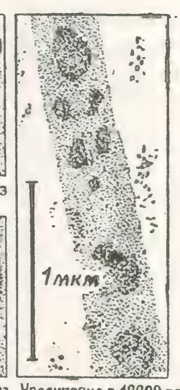
Объективная линза микроскопа на 50 кв



Увеличение в 1000 раз

Увеличение в 10000 раз

Туберкулезные бактерии в световом микроскопе



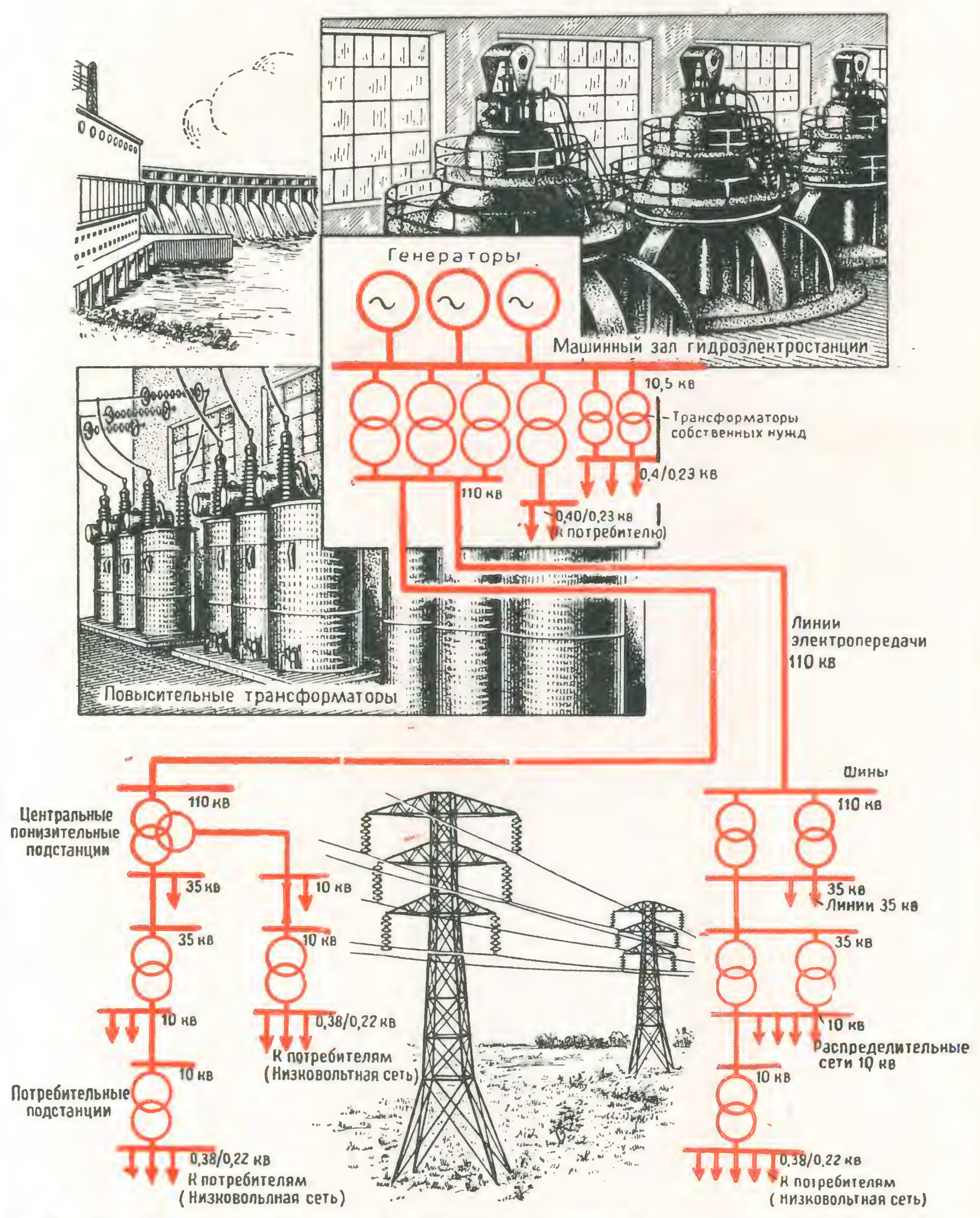
Увеличение в 40000 раз

Туберкулезные бактерии в электронном микроскопе

Э.И. Расовский.

Худ. А.Меньшиков

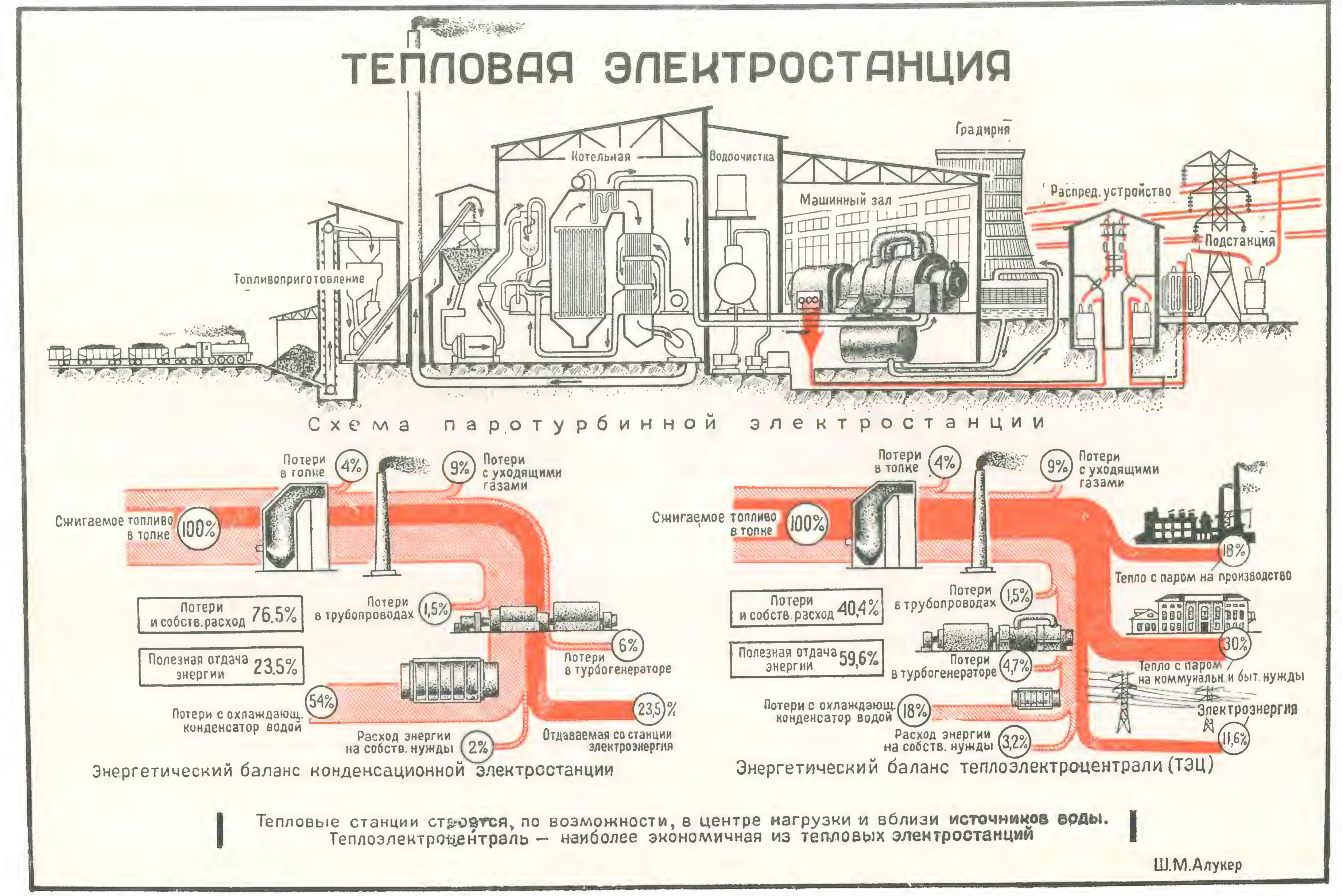
СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТ РАЙОННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ



Электрические станции строятся в местах расположения энергетических ресурсов, откуда электрическая энергия высокого напряжения передаётся в места её потребления

Ш.М.Алукер.

Худ. А.Меньшиков

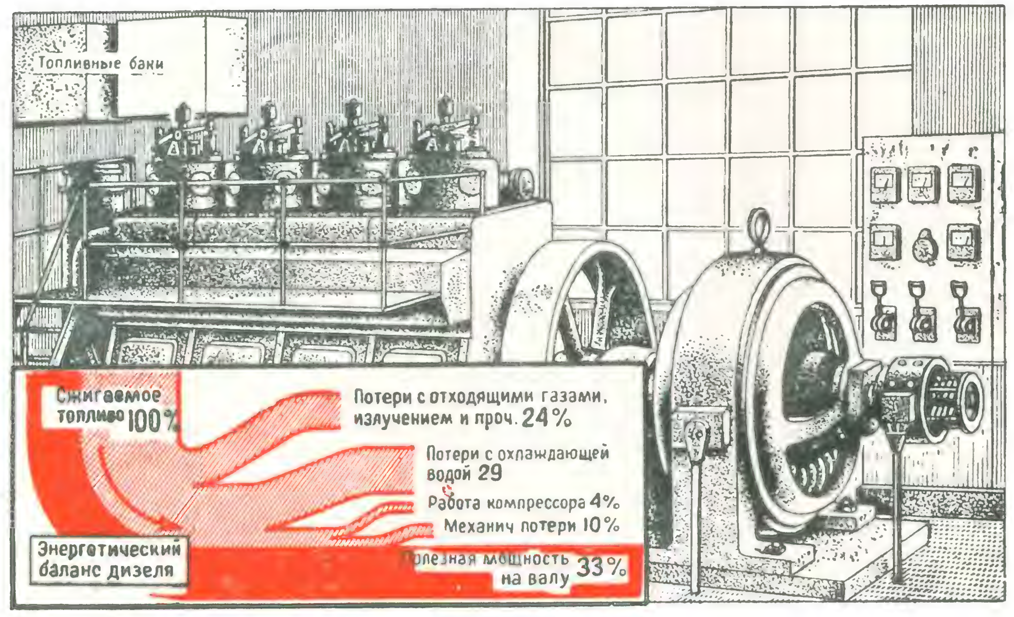


Тепловые станции строятся, по возможности, в центре нагрузки и вблизи **источников воды.**
Теплоэлектроцентраль — **наиболее экономичная из тепловых электростанций**

Ш.М.Алукер

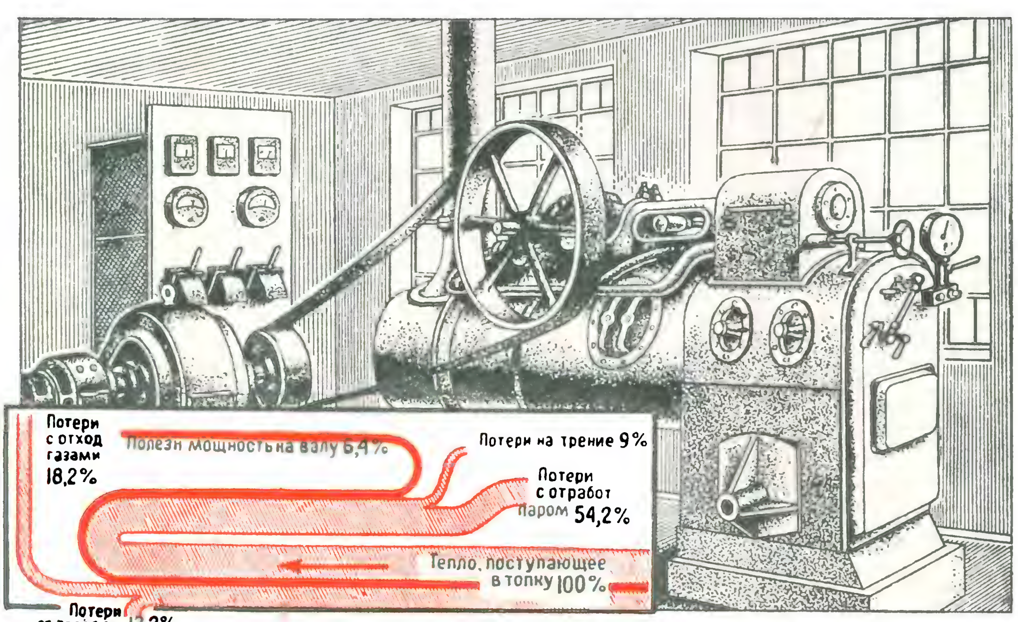
Худ. А. Меньшиков

ТЕПЛОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ
(продолжение)



ДИЗЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

строится в районах, не располагающих местными энергетическими ресурсами (вода, уголь, дрова, торф и пр.)



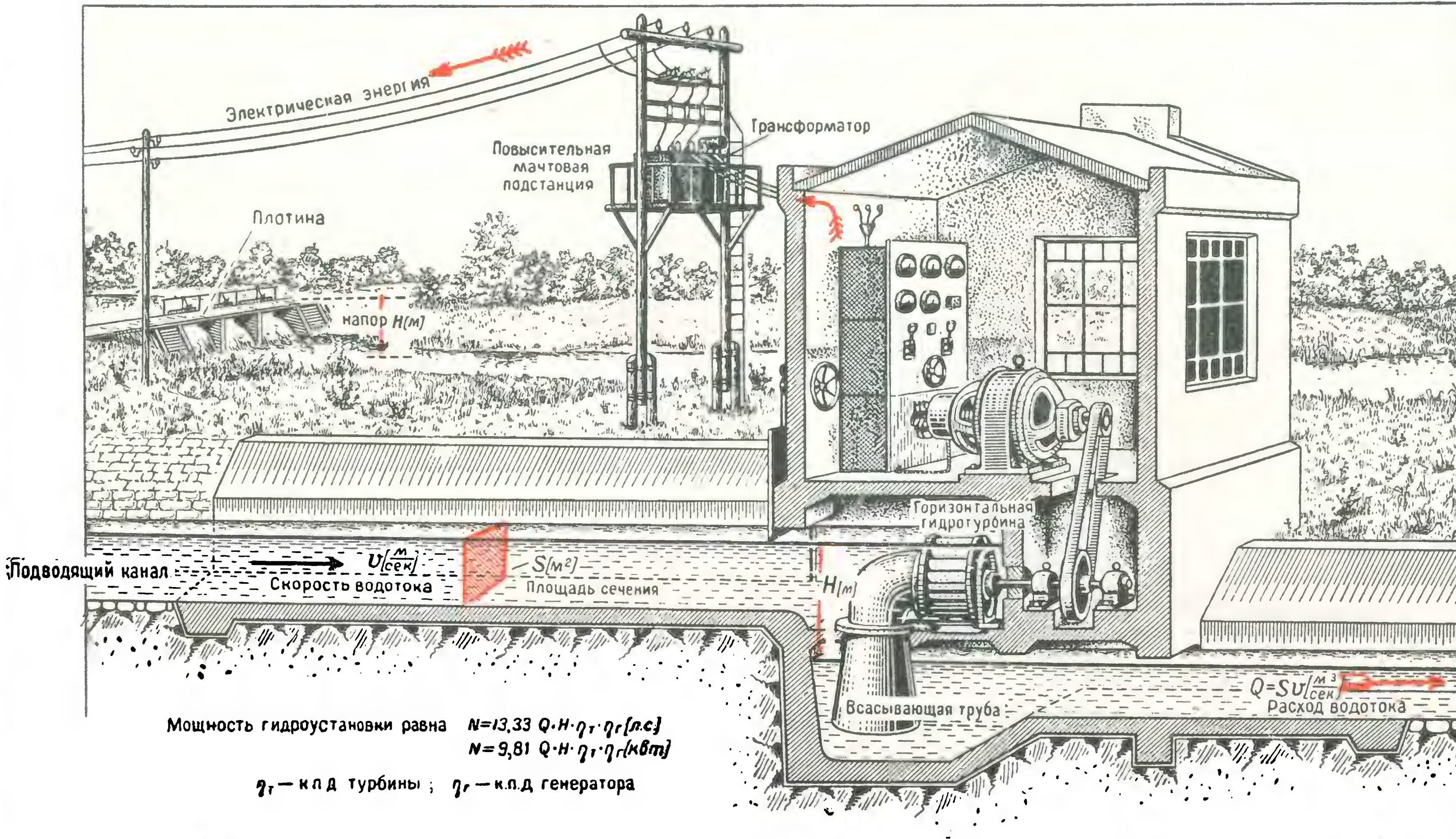
ЛОКОМОБИЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

строится в районах, богатых дровами или отходами производства (костра, опилки, солома и т. п.)

Ш:М.Алукер

Худ А.Меньшиков

ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ



Мощность гидроустановки равна $N=13{,}33\ Q\cdot H\cdot \eta_т\cdot \eta_г\,[л.с.]$

$N=9{,}81\ Q\cdot H\cdot \eta_т\cdot \eta_г\,[квт]$

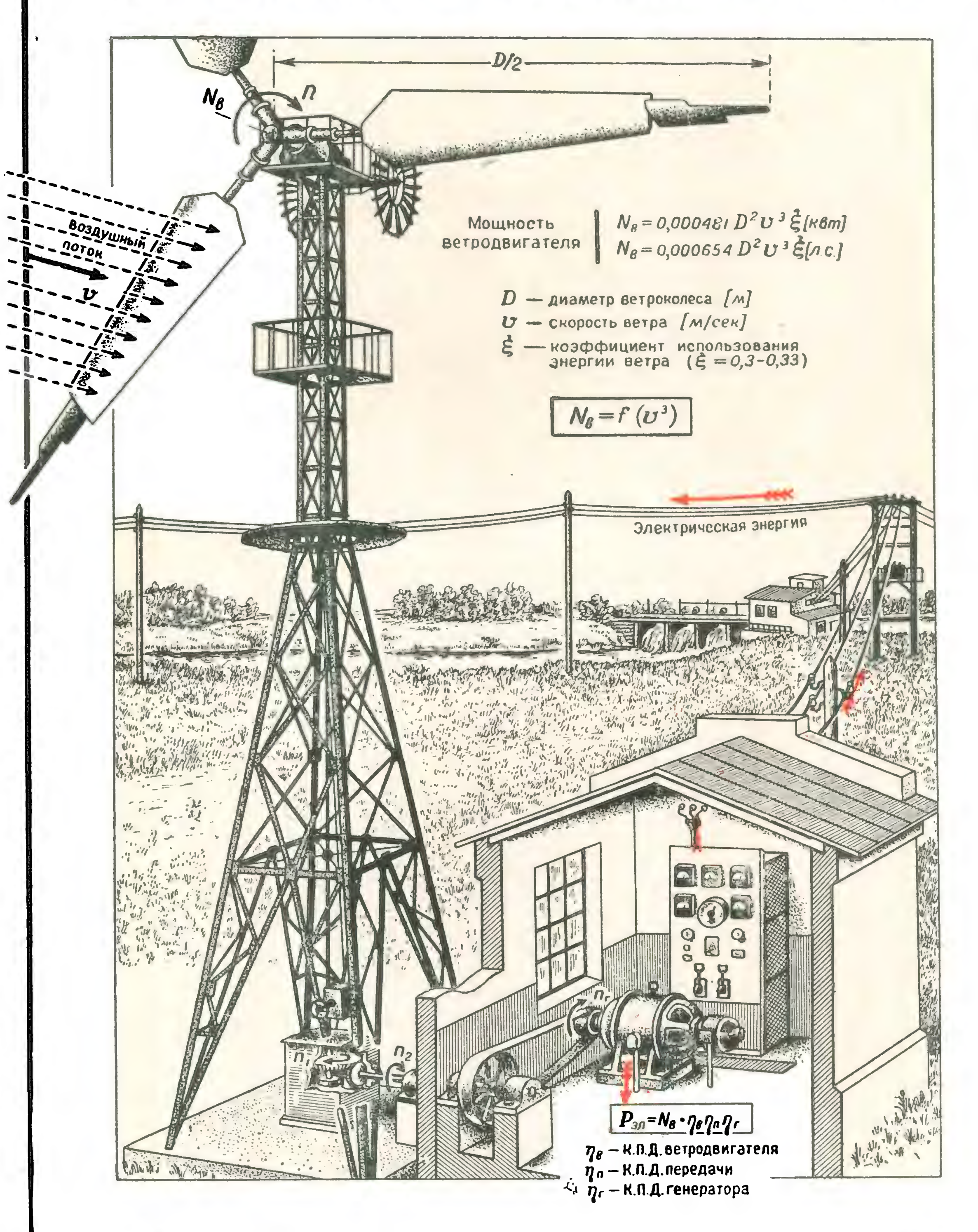
$\eta_т$ — к.п.д. турбины ; $\eta_г$ — к.п.д. генератора

Основой использования водной энергии участка водотока является концентрация напора в одном створе при помощи плотины или деривации.

Ш. М. Алукер.

Худ. А. Меньшиков

ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

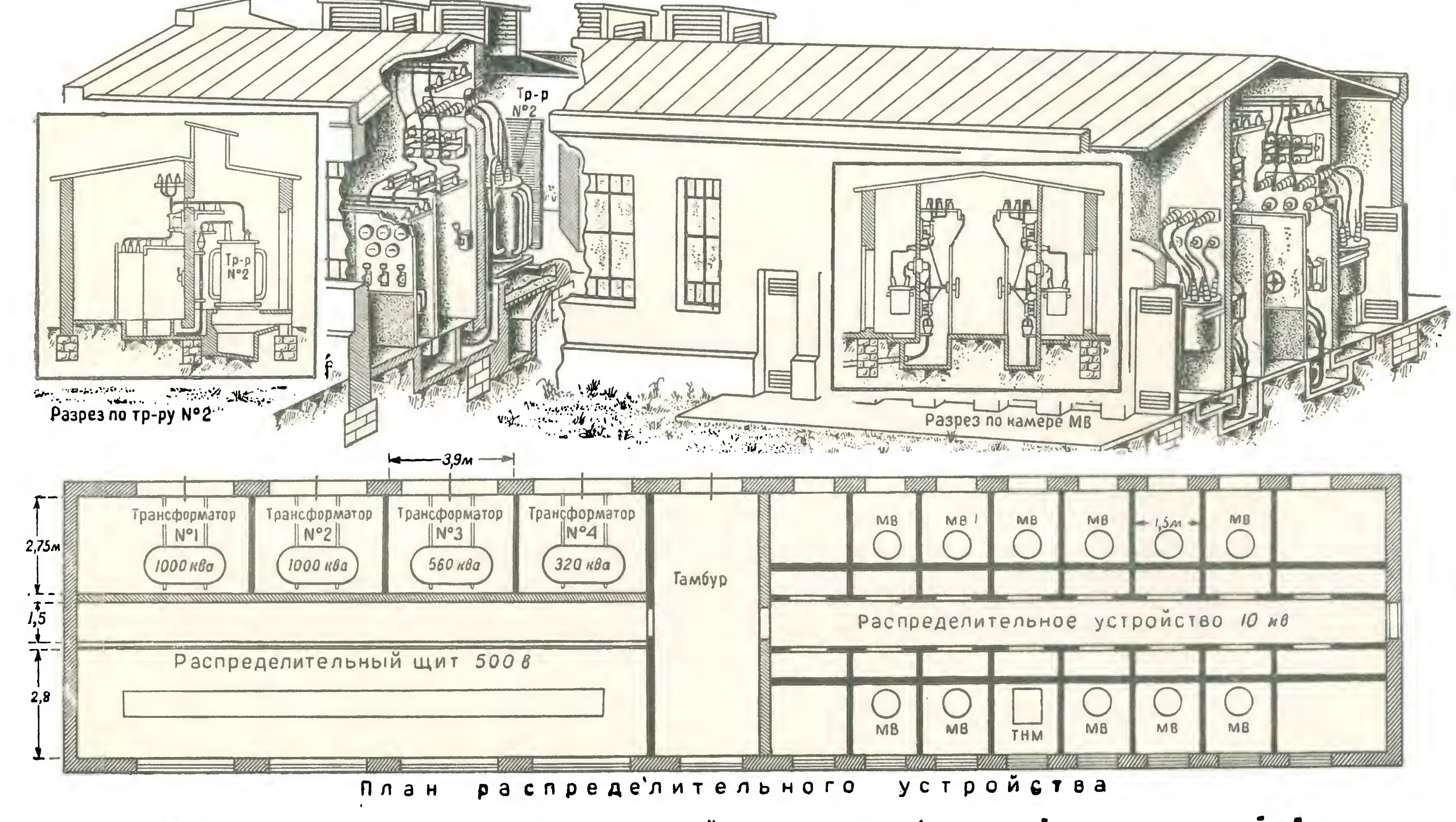


Основой использования энергии ветра является обеспечение наивыгоднейшего угла атаки потоков воздуха на крылья ветродвигателя. Мощность ветроэлектростанции переменна и является функцией скорости ветра

Ш.М. Алукер

Худ. А. Меньшиков

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО



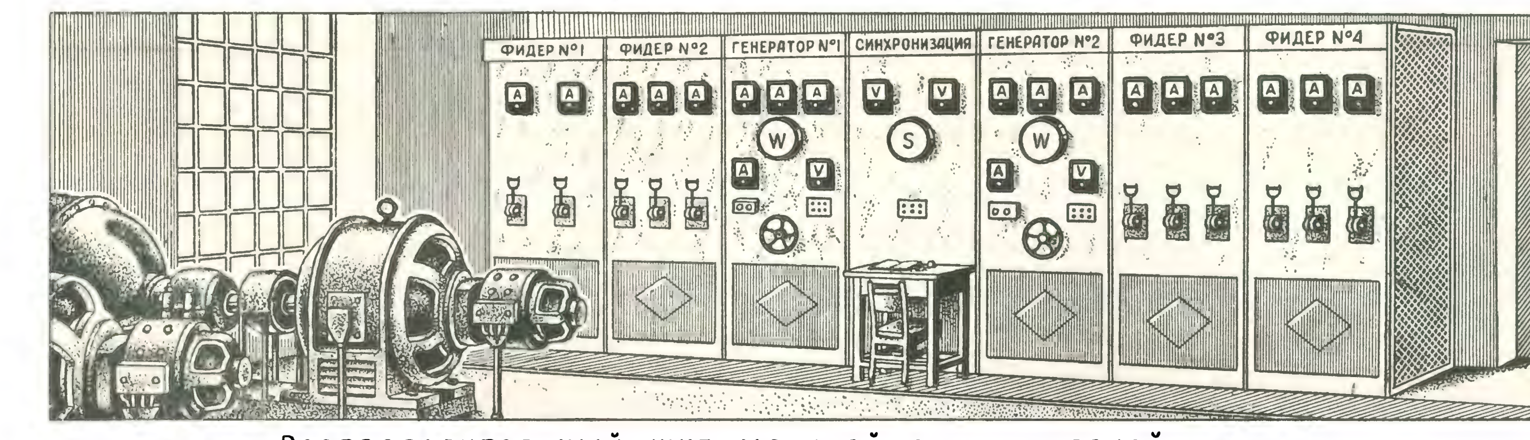
План распределительного устройства

Управление и распределение электрической энергии, вырабатываемой электростанцией, осуществляется через распределительное устройство

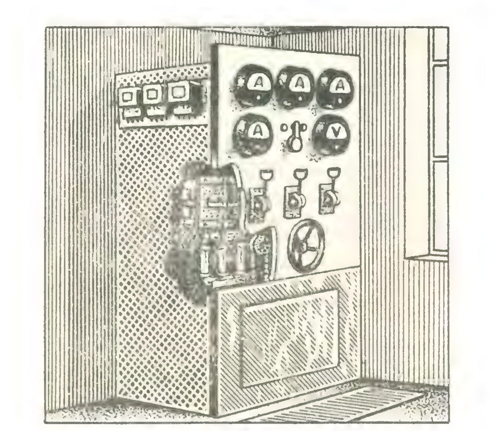
Ш.М. Алукер

Худ А. Меньшиков

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЩИТ



Распределительный щит местной электрической станции



Распределительный щит одноагрегатной сельской электростанции.

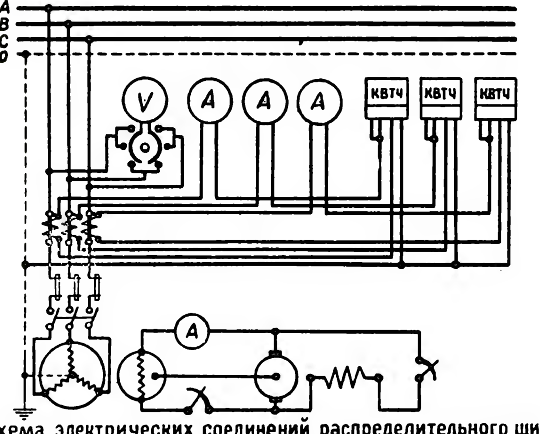
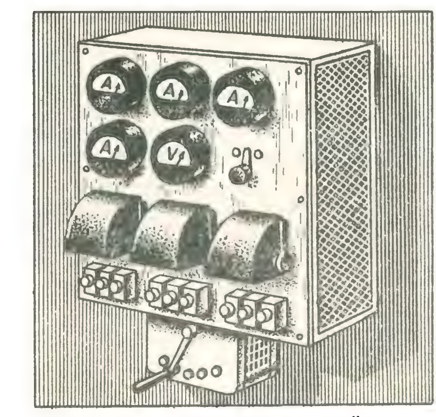


Схема электрических соединений распределительного щита одноагрегатной сельской электростанции



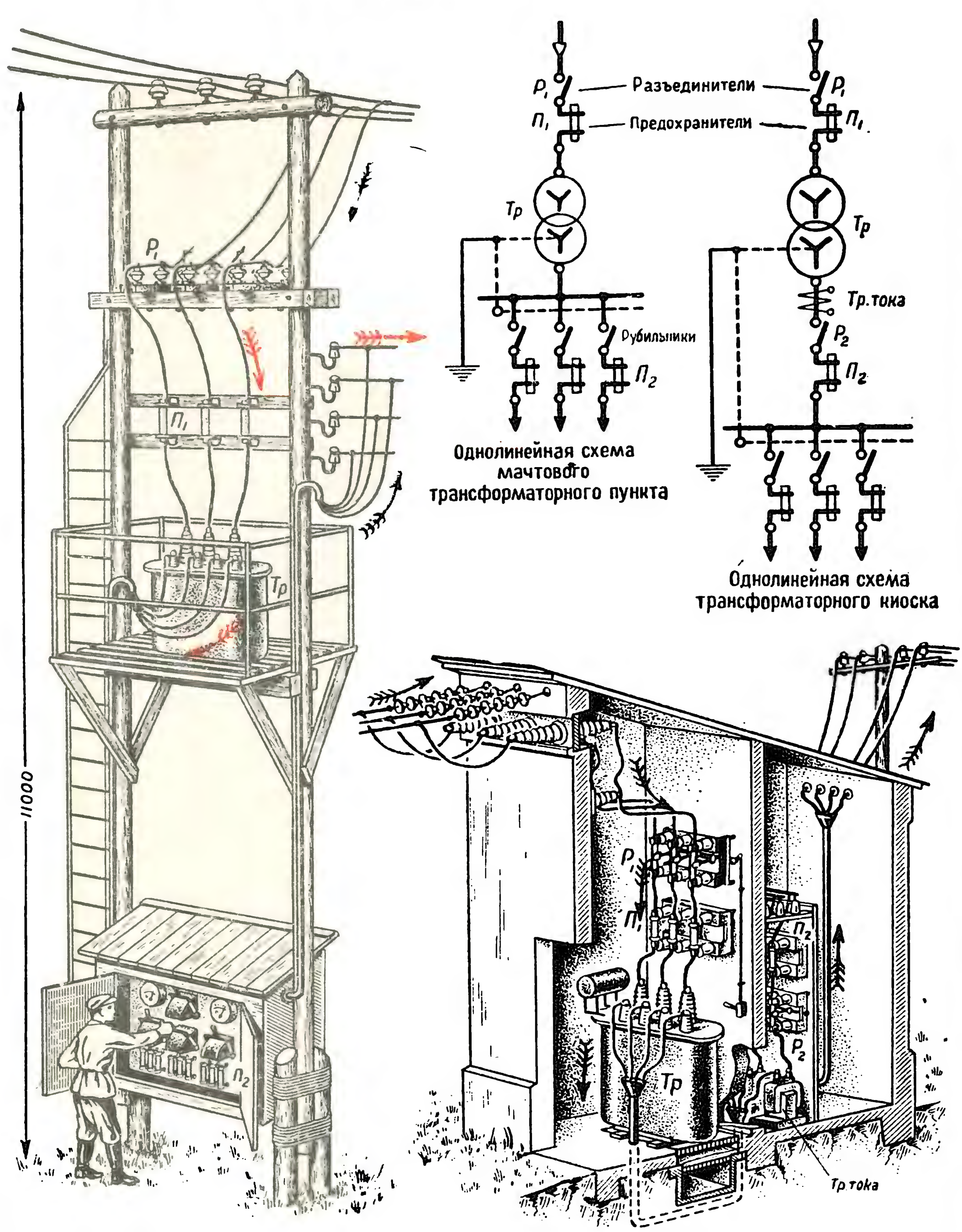
Настенный распределительный щит сельской электростанции мощностью до 30 ква

Распределение энергии потребителям, оперативное управление работой электростанции и контроль за ней осуществляются с распределительного щита (щита управления)

Ш.М.Алукер.

Худ. А.Меньшиков

ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ ПУНКТ



Мачтовый трансформаторный пункт

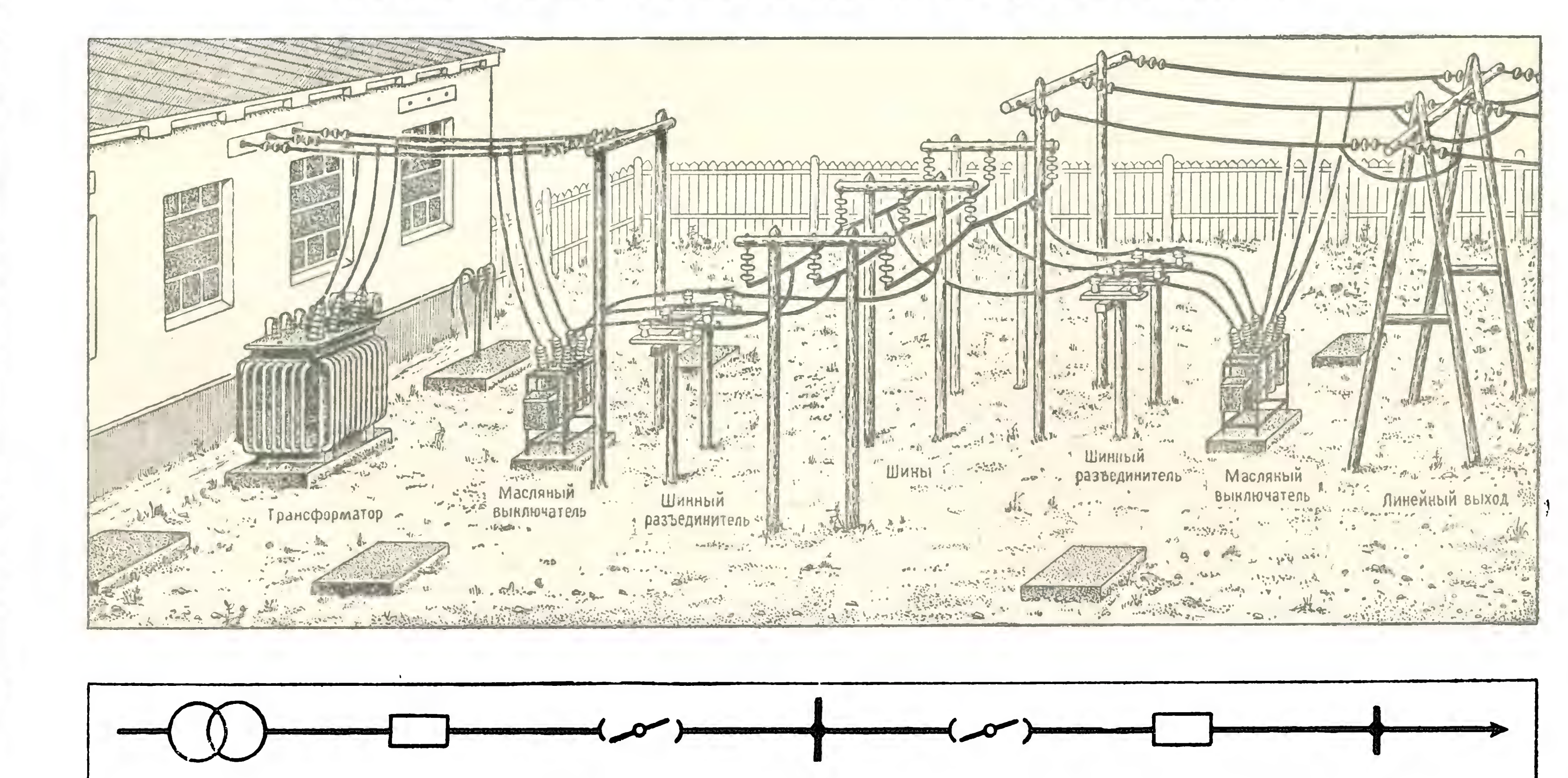
Трансформаторный киоск

Понижение высокого напряжения до рабочего и распределение энергии потребителям осуществляются через трансформаторные пункты (киоски)

Ш.М Алукер

Худ. А. Меньшиков

ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ



Однолинейная схема

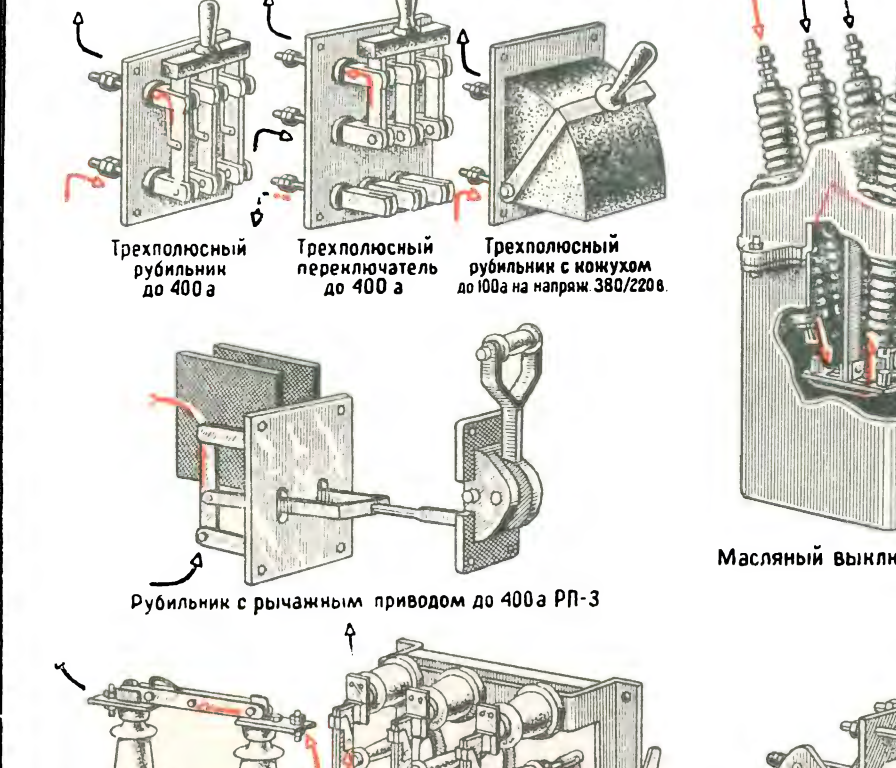
Повышение напряжения до нужных для передачи энергии значений и понижение высокого напряжения до нужных для распределения энергии значений осуществляются через трансформаторные подстанции

Ш. М. Алукер.

Худ. А. Меньшиков



КОММУТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА



Трехполюсный рубильник до 400 а

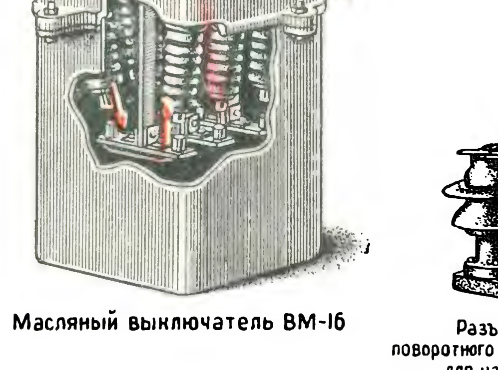
Трехполюсный переключатель до 400 а

Трехполюсный рубильник с кожухом до 100а на напряж. 380/220 в.

Рубильник с рычажным приводом до 400 а РП-3

Разъединитель однополюсный для внутренней установки на 6-10 кв 400-600 в

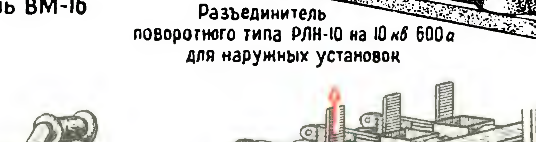
Разъединитель трехполюсный для внутренней установки



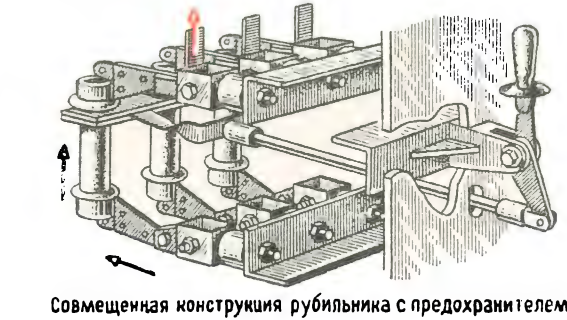
Масляный выключатель ВМ-16

Масляный выключатель ВМГ для внутренних установок

Разъединитель поворотного типа РЛН-10 на 10 *кв* 600 *а* для наружных установок



Рычажный дистанционный привод ПРТ



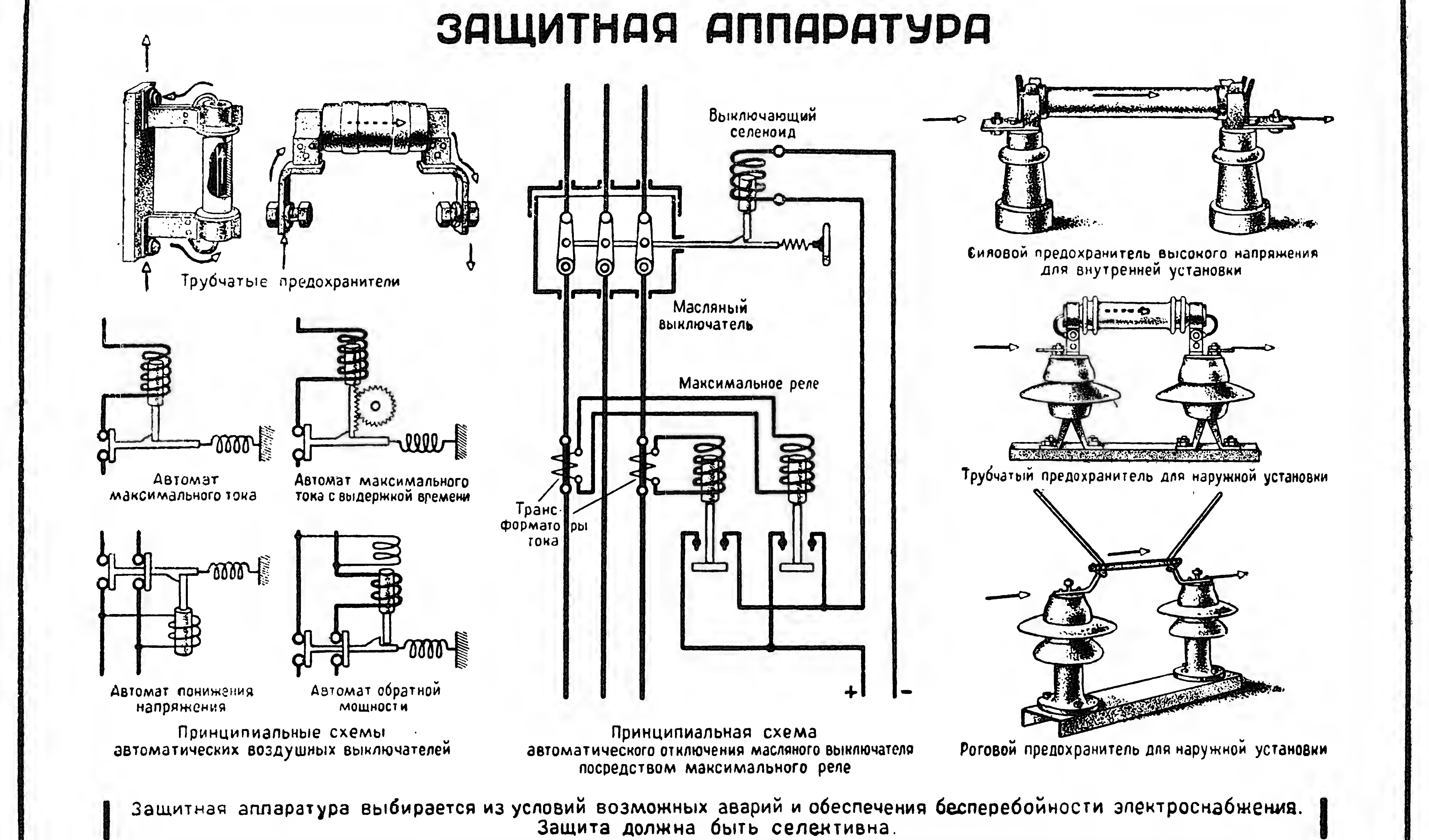
Совмещенная конструкция рубильника с предохранителем

Коммутационная аппаратура выбирается по напряжению, току и условиям установки

Ш.М. Алукер

Худ. А. Меньшиков

ЗАЩИТНАЯ АППАРАТУРА

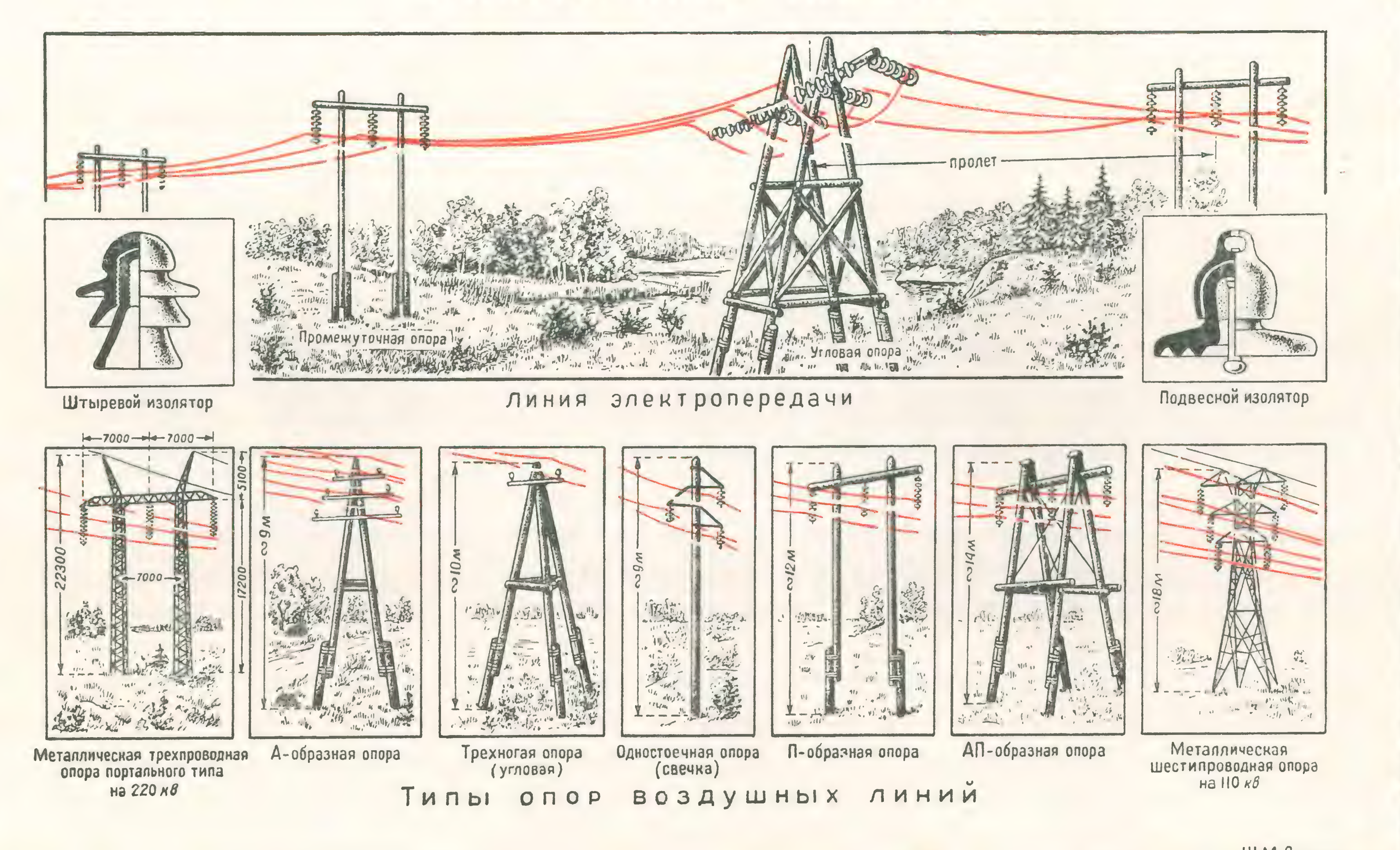


Защитная аппаратура выбирается из условий возможных аварий и обеспечения бесперебойности электроснабжения. Защита должна быть селективна.

Ш.М. Алукер.

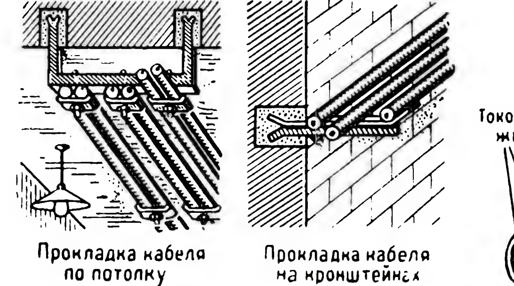
Худ А Меньшиков

ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ



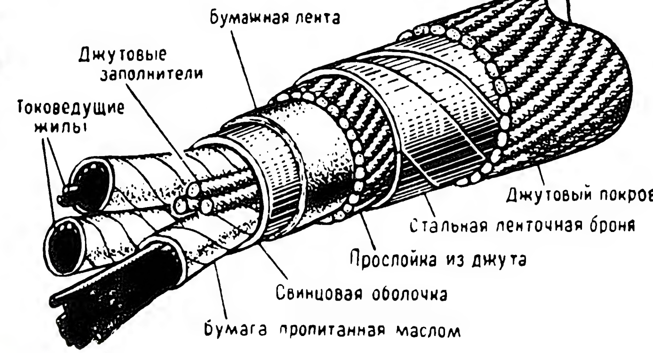
Худ А. Меньшиков

КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ



Прокладка кабеля по потолку

Прокладка кабеля на кронштейнах



Трехфазный кабель на напряжение до 6 кв

Прокладка кабелей в туннеле

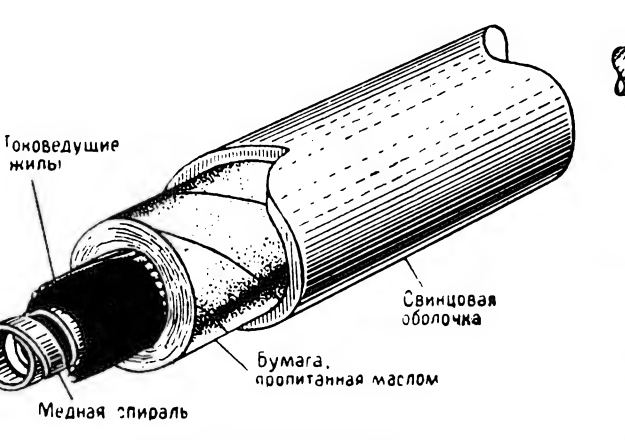
Прокладка кабеля в траншее

Фарфоровая пластинка

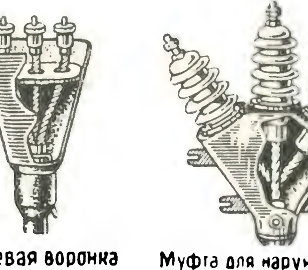
Заземление

Разделка трехфазного кабеля

Прокладка кабеля в каналах



Маслонаполненный кабель



Концевая воронка

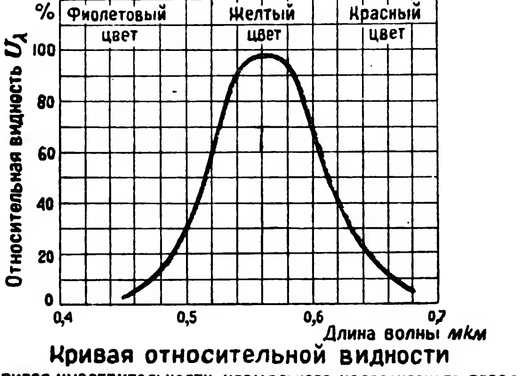
Муфта для наружн установки

Кабельные линии применяются в качестве городских распределительных сетей и других подземных проводок
Кабельные линии значительно дороже воздушных

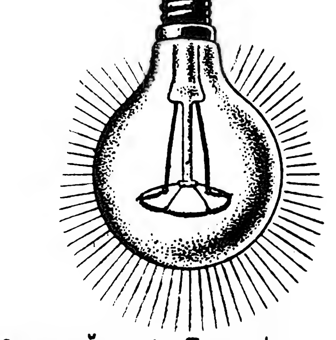
Ш М Алукер

Худ А Меньшиков

СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ



Кривая относительной видности
(кривая чувствительности нормального человеческого глаза к излучению различных длин волн)



Световой поток F_λ есть $\frac{1}{621}$ мощности излучения P_λ, умноженной на относительную видность: $F_\lambda = \frac{1}{621} P_\lambda \cdot U_\lambda$



Единица светового потока – **люмен** – 1/621 ватта излучения при длине волны $\lambda = 0{,}556$ мкм

ω – телесный угол
I_2 Сила света
Световой поток
$\rho = 1$
F
F_2
ω
I_1

Сила света источника I – отношение светового потока F, излучаемого источником в телесн. угле ω, к величине этого угла: $I = \frac{F}{\omega}$ [св]

Единица силы света – международная свеча
(1 свеча = $\frac{1 \text{ люмен}}{1 \text{ стерадиан}}$)

1000 вт (1500 св)

Кривая распределения силы света нормальной лампы накаливания



Освещенность – поверхностная плотность светового потока: $E = \frac{F}{S}$

Единица освещенности – **люкс**
(1 люкс = $\frac{1 \text{ люмен}}{1 \text{ м}^2}$)



Пламя стеариновой свечи 0,7 сб		
Пламя керосиновой лампы 1,1 сб		
Вольфрамовая нить в пустотной лампе 140–200 сб		
Вольфрамовая нить в газополной лампе 800–1200 сб		
Кратер электрической дуги 18000 сб		

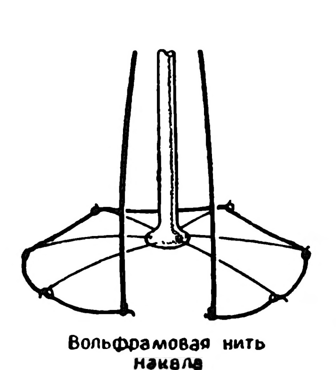
Значения яркости некоторых источников света

Единица яркости – **стильб**
(1 сб = $\frac{1 \text{ свеча}}{1 \text{ см}^2}$)

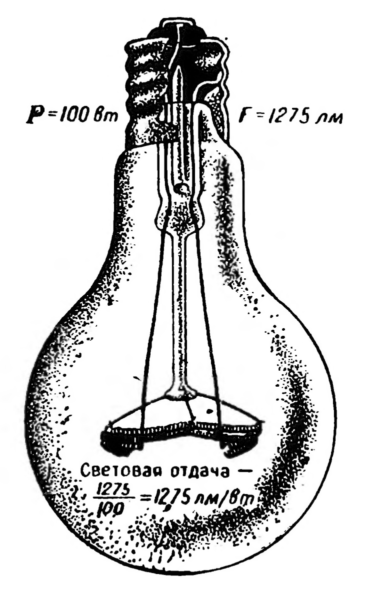
Ш.М. Алукер

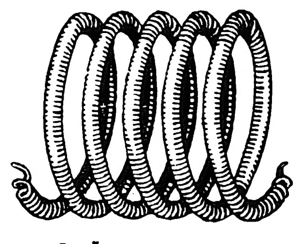
Худ. А. Меньшиков

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА



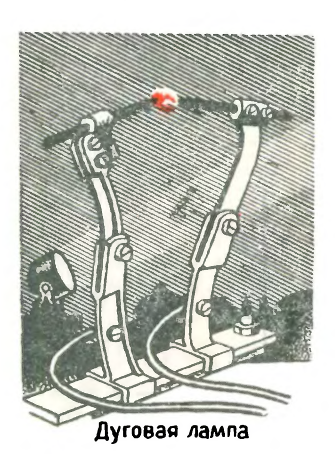
Вольфрамовая нить накала





Двойная спираль (биспираль)

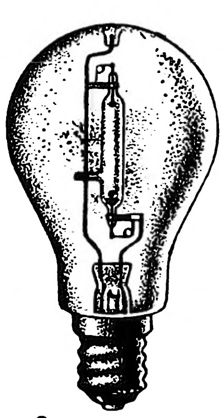
Лампа накаливания



Дуговая лампа



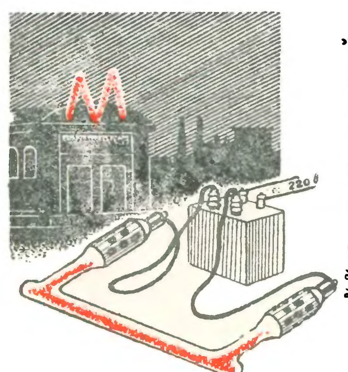
Люминесцентная лампа



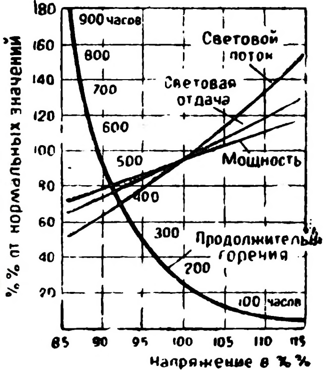
Ртутная лампа

Номинальное напряжение	Номинальные значения		
	Мощность вт	Световой поток лм	Световая отдача лм/вт
	15	124	8,25
	25	225	9,00
110	40	380	9,50
120	60	645	10,75
127	100	1275	12,75
	150	2175	14,50
	200	3050	15,25
	25	191	7,65
	40	336	8,40
	60	540	9,00
220	100	1000	10,00
	150	1710	11,41
	200	2510	12,56

Световые и электрические характеристики ламп накаливания



Газосветная лампа высокого напряжения

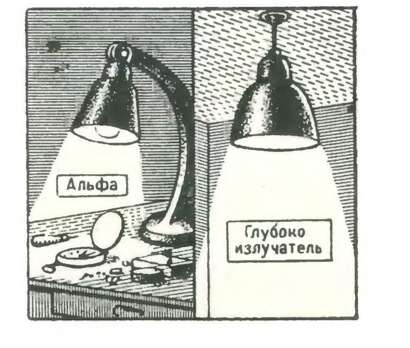


Зависимость основных характеристик ламп накаливания от напряжения

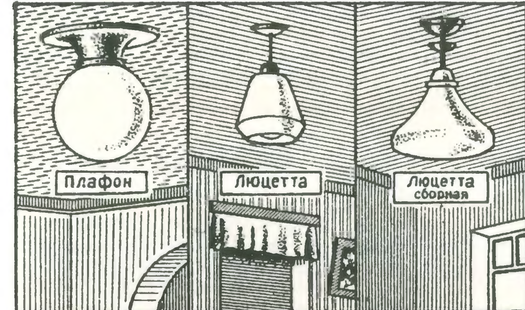
Ш. М. Алукер

Худ. А. Меньшиков

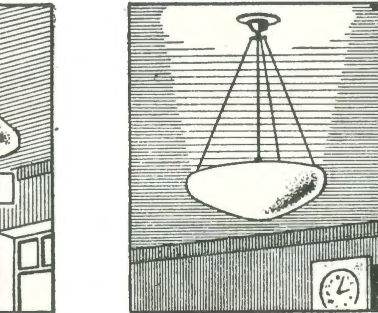
ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ (СВЕТИЛЬНИКИ)



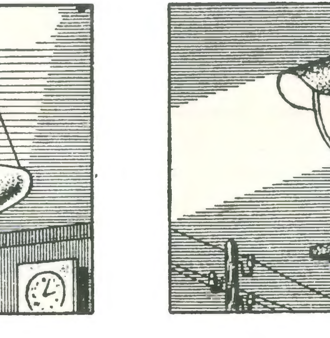
Светильники прямого света



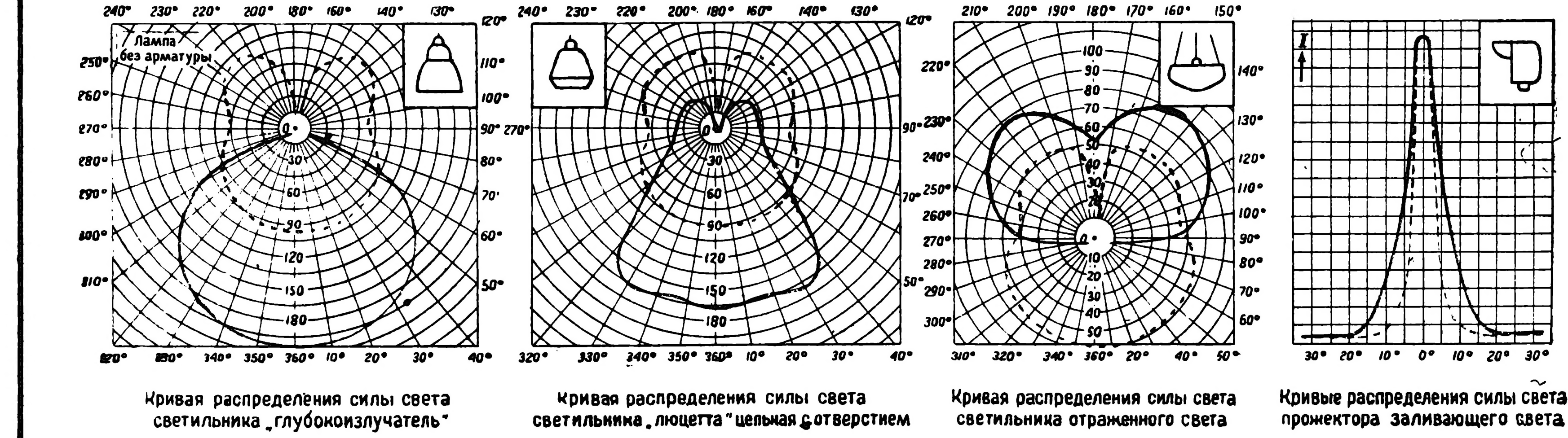
Светильники рассеянного света



Светильник отраженного света



Прожектор заливающего света



Кривая распределения силы света светильника „глубокоизлучатель"

Кривая распределения силы света светильника „люцетта" цельная с отверстием

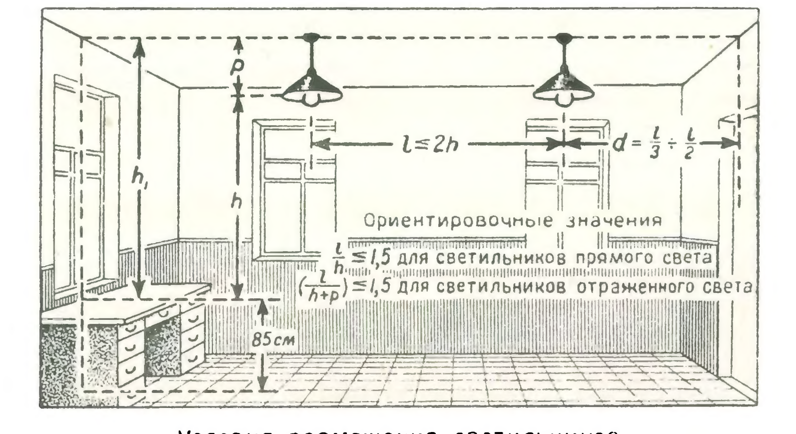
Кривая распределения силы света светильника отраженного света

Кривые распределения силы света прожектора заливающего света

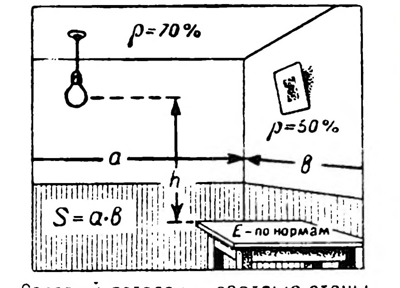
Ш.М.Алукер

Худ. А.Меньшиков

РАСЧЕТ ОСВЕЩЕНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЕ СВЕТИЛЬНИКОВ



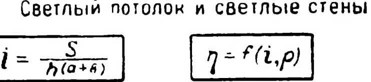
Условия размещения светильников



Светлый потолок и светлые стены



Средние стены и светлый потолок



Показатель помещения

Коэффициент использования светового потока

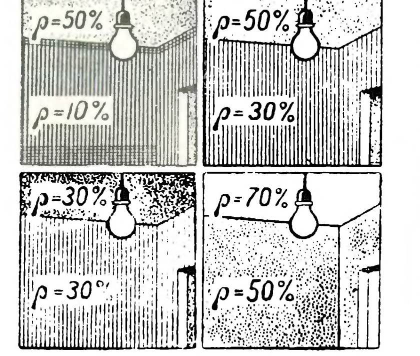
$F_n = \frac{ESk}{\eta n}$ люмен

Необходимый световой поток

k — коэффициент запаса ($k = 1{,}3 \div 2$)

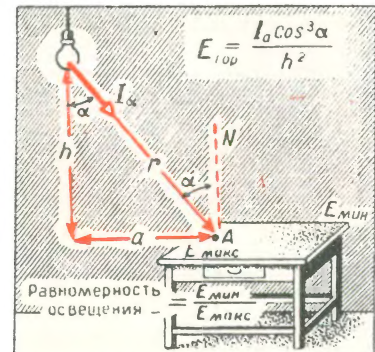
n — число ламп

Расчет освещенности методом коэффициента использования

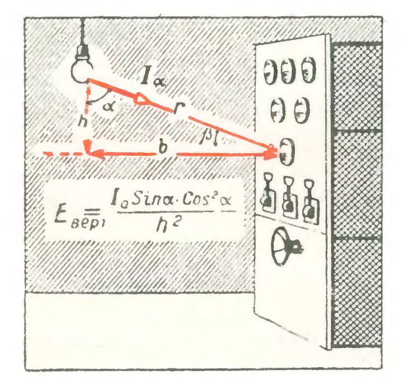


Значение коэффициента отражения

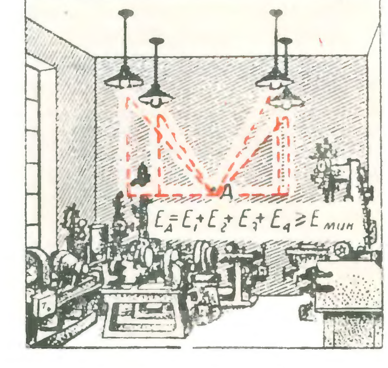
$$\rho = \frac{F_{отр}}{F_{пад}} 100\%$$



Определение горизонтальной освещенности в отдельных точках помещения



Определение вертикальной освещенности в отдельных точках помещения



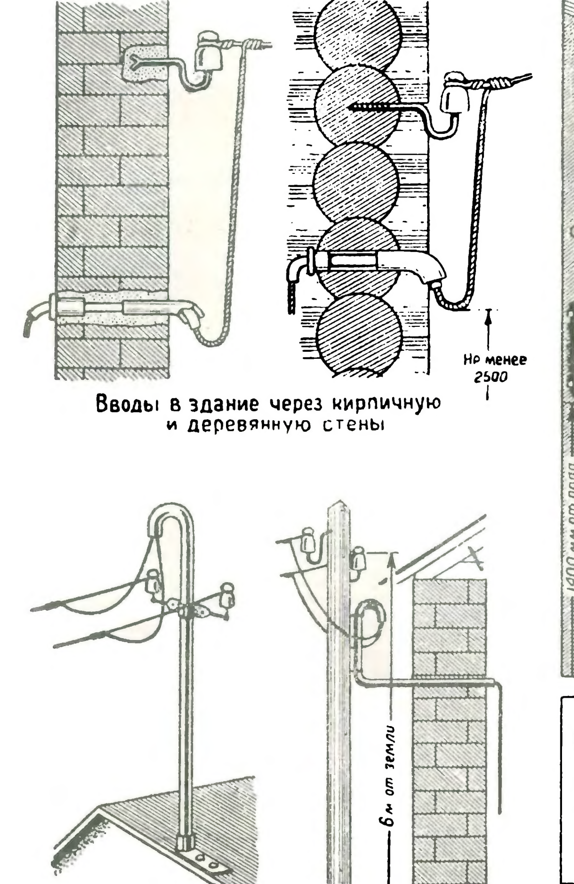
Расчет освещенности точечным методом

УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД МОЩНОСТИ НА ОСВЕЩЕНИЕ: для жилых и общественных помещений $3{,}5 \div 12$ вт/м² (ориентировочно)
для производственных помещений $4 \div 8$ вт/м²

Ш.М. Алукер

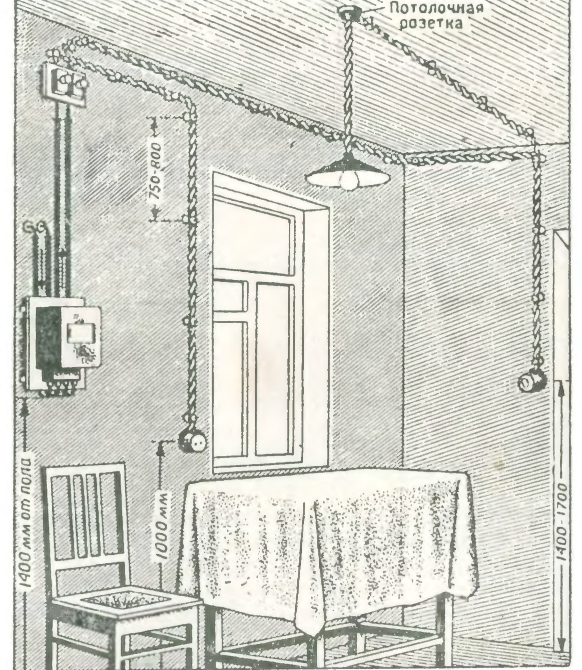
Худ. А. Меньшиков

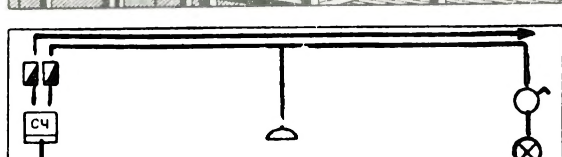
ОСВЕТИТЕЛЬНАЯ ПРОВОДКА



Вводы в здание через кирпичную и деревянную стены

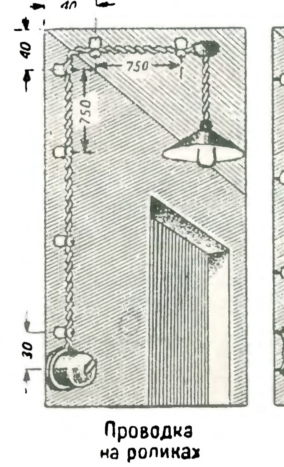
Вводы в здание через крышу и с подставным столбом



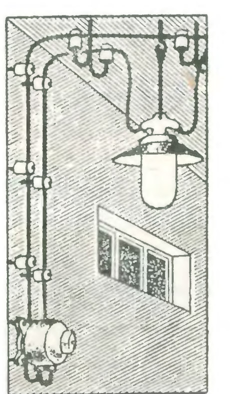


Однолинейная схема электропроводки

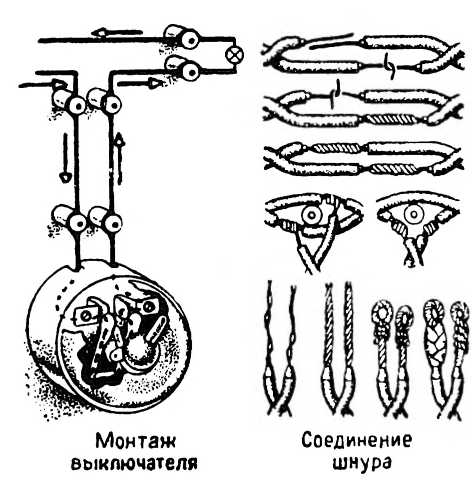
Внутренняя осветительная проводка



Проводка на роликах



Проводка на изоляторах



Монтаж выключателя

Соединение шнура

Ш.М. Алуяер

Худ А Меньшиков